



PLAN DE
Bioeconomía
Agricultura Sustentable
Industrialización Inteligente



MANUAL DE BIOGÁS

Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos.



Dirección de Sustentabilidad,
Medio Ambiente y Cambio Climático



Buenos Aires
Provincia

Contenidos:

Introducción	4
Digestión anaeróbica	5
Antecedentes:	6
Cuadro N°1: Campos de Aplicación y Objetivos de la Fermentación Anaeróbica	6
Capítulo 1: los biodigestores	9
Tipos de Biodigestores	11
A. Biodigestor de campana flotante	11
B. Biodigestor de campana fija:	12
C. Biodigestor tubular o de flujo pistón	12
Capítulo 2: el BIOGÁS	13
1. Aplicaciones del BIOGÁS	13
Gráfico N° 1: Usos del Biogás	13
Cuadro N° 2: Consumo y eficiencia de distintos artefactos usando BIOGAS	15
2. Factores que influyen en el proceso del BIOGAS:	15
A. TIPO Y CONCENTRACIÓN DE SUSTRATO (NUTRIENTES DISPONIBLES)	15
Tabla N° 1: Potencial de biogás de distintos sustratos.....	16
Tabla N° 2: Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento	17
B. CONTENIDO DE SÓLIDOS	18
• Sólidos totales	18
• Sólidos volátiles	18
C. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA. (TRH)	19
Figura N°1: Producción diaria de biogás y TRH de diferentes sustratos	19
D. Velocidad de carga volumétrica:	20
E. Cálculo de la alimentación diaria:	20
F. TEMPERATURA DEL SUSTRATO	21

Tabla N°3: Clasificación de las bacterias por sus rangos de temperaturas de crecimiento	21
Figura N° 2: Tiempo de retención (TRH) y rendimiento de biogás según temperatura del proceso.....	22
G. Relación carbono / nitrógeno	22
Características de las bacterias metanogénicas:	22
H. ACIDEZ	22
I. AGENTES PROMOTORES E INHIBIDORES DEL PROCESO	23
Tabla 4: Concentración inhibidora de inhibidores comunes	25
J. Agitación.....	25
3. Fases de producción de Biogas:	26
Gráfico N°2 : Fases de Producción de BIOGÁS	26
1. Hidrólisis y fermentación:.....	27
2. Acidogénica, acetogénica y deshidrogenación.....	27
3. Metanogénica:	27
4. Ventajas del uso de Biodigestores:.....	28
Capítulo 3: Usos del Digestato de los Biodigestores:.....	30
Los Biofertilizantes.....	30
Tabla N° 5: Producción de BIOL y BIOSOL a partir de mezcla de estiércol de Vaca y Ensilado de Maíz.....	30
1. BIOL o Fertilizante Líquido.....	31
1.1. Objetivos del uso del BIOL:	31
1.2. Composición Química del BIOL:	32
Tabla N° 6: Composición Química del Biol	32
1.3. Ventajas del BIOL:	32
1.4. Composición Bioquímica del BIOL	33
Tabla N° 7: Composición Bioquímica del BIOL	33
2. BIOSOL o Fertilizante Sólido.....	34
2.1. Composición química del BIOSOL proveniente de estiércol vacuno	34
Tabla N° 8: Características generales del BIOSOL fresco después de la fermentación de Estiércol Vacuno.....	34

Gráfico N°3 : Contenido de nutrientes del estiércol de vaca, del biofertilizante proveniente del estiércol vacuno y de mezcla de residuos vegetales..... 35

2.2. Ventajas de la aplicación de Biosol: 35

Preparación del BIOFERTILIZANTE:..... 36

Diseño del BIOFERTILIZANTES en base al sustrato empleado:..... 36

Bioles con principios activos fungicidas, insecticidas, nematicidas: 36

Bioles con altos contenidos de macronutrientes N, P, K: 36

Bioles energéticos y reguladores: 36

Agregado de inóculo metanogénico..... 36

Recomendaciones para la obtención de BIOFERTILIZANTES de alta calidad: 36

Flujo de Producción de BIOL y BIOSOL:..... 37

Algunas recetas..... 37

Cosecha del biofertilizante:..... 38

Condiciones de Almacenamiento:..... 38

Recomendaciones para la Aplicación: 38

Consideraciones generales de los Biofertilizantes 39

Valor económico del Biofertilizante y posibilidades de comercialización:..... 40

Capítulo 4. Consideraciones finales 42

Bibliografía..... 43

INTRODUCCIÓN

El uso de Biodigestores se ha propuesto como una solución para el tratamiento de los residuos orgánicos; el proceso involucrado es la digestión anaeróbica, que permite aprovechar la biomasa como fuente de energía renovable.

El **biogás** como energía renovable, tanto en términos de producción energética, como por el cuidado ambiental que implica su producción, despierta actualmente un creciente interés en todo el mundo. Este hecho se acentúa aún más, si nos referimos a la producción de biogás a partir de la descomposición de residuos orgánicos en vertederos; que supone una significativa generación de electricidad y calor, al tiempo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Por otro lado, este proceso también genera un efluente con alto potencial como sustituto de los fertilizantes sintéticos usados en la actualidad por sus excelentes propiedades agronómicas.

El proceso base para la producción de BIOGAS, es la FERMENTACIÓN ANAEROBICA, dicho proceso ocurre en ausencia de oxígeno, en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico de los seres vivos y del ciclo bio-geo-químico del Carbono. Así es que podemos encontrar naturalmente, el denominado "gas de los pantanos" brotando en aguas estancadas; el gas natural metano, de los yacimientos petrolíferos, y por último, el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

Digestión anaeróbica

Es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "**biogás**" y a una suspensión acuosa o "**lodo**" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. Constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza. Las *bacterias metanogénicas* constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.



Antecedentes:

● Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1.600, identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. La comprensión del proceso microbiológico ha estado acompañada por importantes logros y avances en la investigación aplicada, obteniéndose grandes innovaciones en el campo tecnológico.

● Año 1866: un alumno de Pasteur, Bechamp, fue uno de los primeros en demostrar concluyentemente que la formación de Metano es un proceso biológico.

● Año 1875: Popoff agregó, por primera vez, materiales celulósicos a los lodos fluviales (fangos) con fines de fermentación y pudo producir hidrógeno y metano.

● Año 1890: se construyó el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

● Año 1901: Schengon, describió más detalladamente las características morfológicas de las metanobacterias y surgió un concepto relativamente claro de su capacidad de conversión.

Actualmente, los países con tecnologías más avanzadas en la aplicación de biodigestores son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. A lo largo de todos estos los años, la tecnología para la digestión anaeróbica fue especializándose y actualmente se utiliza en diferentes campos con objetivos muy variados. (Ver Cuadro 1). (INTA, Castelar)

Cuadro N°1: Campos de Aplicación y Objetivos de la Fermentación Anaeróbica

1. - Tratamiento de aguas y residuos industriales <ul style="list-style-type: none">• Estabilizar efluentes• Producción de energía
2. - Aplicación industrial <ul style="list-style-type: none">• Producción de fertilizantes orgánicos• Alimentación animal• Tratamiento de residuos
3. - Tratamiento de basuras, rellenos sanitarios <ul style="list-style-type: none">• Protección ambiental• producción de energía
4.- Tratamiento de líquidos cloacales <ul style="list-style-type: none">• Higiene y protección ambiental• Producción de energía

Fuente: Manual de Producción de Biogás. INTA Castelar.

Las **plantas de tratamiento de desechos industriales**, han tenido una importante evolución en los últimos años y están difundándose en Europa y China, en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales. Se utilizan reactores anaeróbicos de grandes dimensiones (más de 1.000 m³ de capacidad), que trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C), con sofisticados sistemas de control y generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; **calor, electricidad y un efluente sólido** de alto contenido proteico, para usarse como **fertilizante** o **alimento de animales**. En Latinoamérica, hay algunos desarrollos en Brasil y Colombia. **Argentina** ha desarrollado tecnología propia para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

En el **área Rural**, la aplicación del Biogás ha tenido un gran desarrollo en dos campos diferentes:

El **primero**, con el objetivo de dar **energía, sanidad y fertilizantes orgánicos** a los agricultores de zonas marginales o de sectores rurales de bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía. La tecnología desarrollada para estos fines ha buscado desarrollar digestores de mínimo costo, fáciles de operar y mantener, pero los niveles de producción de energía que se alcanzan por estos medios son sólo para autoconsumo.

El **segundo** tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos, con el objetivo de brindar **energía y solucionar graves problemas de contaminación**. En este caso, los digestores presentan alta eficiencia, un mayor costo inicial y un manejo y mantenimiento más complicados.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los más sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. Con respecto a los digestores de alta eficiencia, la mayoría se encuentran instalados en Europa. En el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

El **tratamiento de líquidos cloacales** mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos está muy difundido en todo el mundo desde hace más de 50 años. Ya en 1975, el biogás generado por esta técnica en Europa alcanzaba un total de alrededor de 240 millones de m³ anuales. Las constantes innovaciones en los equipos de cogeneración aseguran un sostenido desarrollo en este campo. Un aspecto importante a considerar es que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación del tipo de productos que se vierten en los sistemas

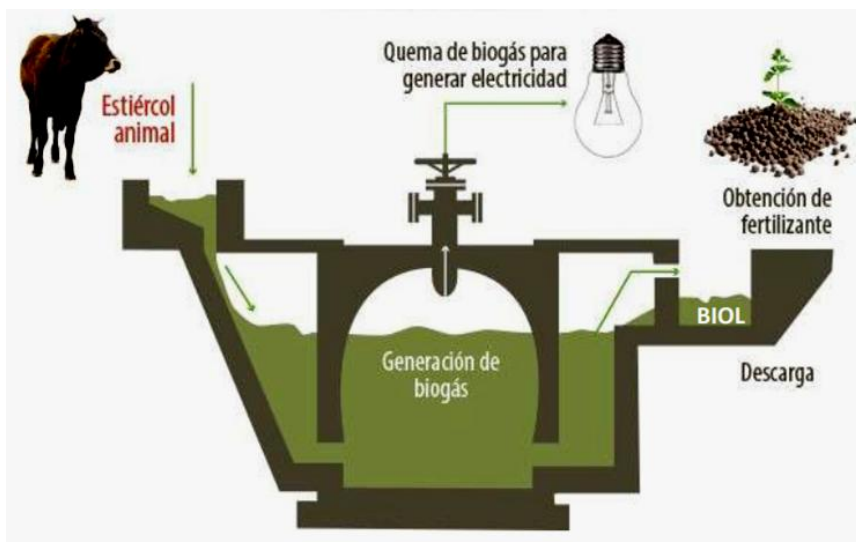
cloacales urbanos; por eso en los países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas, los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El **relleno sanitario**, muy difundido en todo el mundo para eliminar los desperdicios de las ciudades; ha ido incorporando, técnicas de extracción y purificación del gas metano que genera su descomposición; disminuyendo de esta manera los graves problemas que genera, como la muerte de la vegetación de las zonas cercanas, los malos olores y la formación de mezclas explosivas de gases que pueden acumularse en lugares cerrados. *El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.*

Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

CAPÍTULO 1: LOS BIODIGESTORES

Un BIODIGESTOR es un recinto cerrado herméticamente, donde crecen en anaerobiosis (sin oxígeno), microorganismos; protozoarios, hongos y bacterias, que degradan la materia orgánica disuelta en un medio acuoso; dando como resultado **BIOGÁS**; componente energético empleado para la generación de electricidad, calefacción, etc. y un subproducto formado por una suspensión acuosa LODO, que puede ser usada como fertilizante orgánico – bioabono: **BIOL** y **BIOSOL**. Este lodo, rico en Nitrógeno, Fósforo y Potasio; entre otros minerales, presenta una alta calidad agronómica, ya que mejora la absorción de nutrientes y promueve el crecimiento de tallos, frutos y raíces, gracias a las hormonas vegetales de crecimiento que forman parte de su composición.



El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida, según sean las características de la materia orgánica incorporada al biodigestor. El biogás del digestor (debido al metano) posee un poder calorífico aproximado de 4,500 a 5,600 Kcal / m³. El **poder calorífico** del biogás está determinado por la concentración de metano (8,500 Kcal / m³), pudiéndose aumentar eliminando todo o parte del CO₂ presente en el biogás. La producción total de gas depende fundamentalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, dicho de otra forma, de la cantidad de sustrato eliminado en el proceso.

Los biodigestores pueden diseñarse a diferentes escalas, según los objetivos y las posibilidades de los interesados, la cantidad de materia prima disponible como sustrato y las demandas energéticas de los beneficiarios.

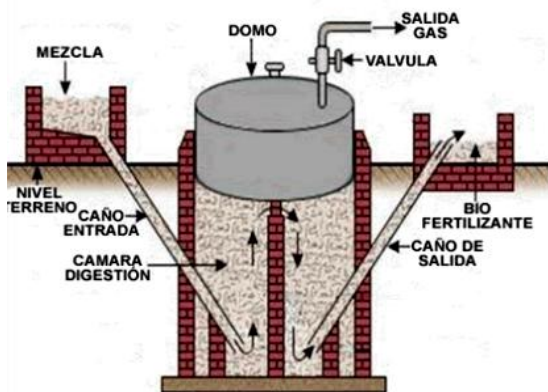


En este documento se detallan los biodigestores de bajo costo, por considerarse una tecnología viable, de fácil manejo y mantenimiento; razones que lo hacen accesible tanto a los pequeños productores como a los grandes.

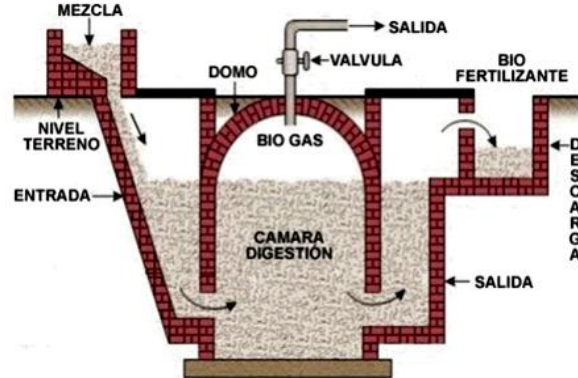
La importancia de los biodigestores familiares no sólo se destaca por la **generación de energía renovable y barata**, sino que también **beneficia a la salud familiar**, porque el biogás no desprende humo al cocinar. Por otro lado, en la producción agropecuaria, el productor dispone de un **fertilizante natural y ecológico** que significa un aumento en el rendimiento de los cultivos, sean alfares, hortalizas, frutales, maíz, papa, café, cebolla, quinua, etc. Además del aumento de productividad, el biol añade **valor agregado ecológico** a los productos, por ser cultivados libre de agroquímicos. De igual forma, los agricultores no gastan dinero en compra de fertilizantes químicos para sus cultivos.



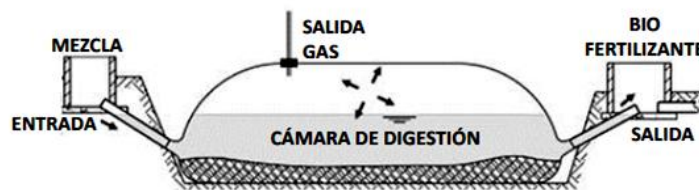
TIPOS DE BIODIGESTORES



(A) Biodigestor de campana flotante



(B) Biodigestor de cúpula fija.



(C) Biodigestor tubular o de flujo pistón

A. BIODIGESTOR DE CAMPANA FLOTANTE

Se compone de un digester construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado (Vargas 1992). Este tipo de biodigestor es conocido también como tipo hindú, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior (Olaya 2006).

Ventajas:

La mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas.

La presión de gas es constante; y es de fácil manejo.

Desventajas:

El costo de construcción de la campana puede resultar elevado, y si la campana es metálica puede corroerse, haciendo necesarios tratamientos especiales para su protección que incrementan la inversión inicial, operación y mantenimiento posterior. (Hilbert 2003).

B. BIODIGESTOR DE CAMPANA FIJA:

Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante (Vargas, 1992). Es conocido también como biodigestor Chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte (Olaya, 2006).

Ventajas:

Tiene una larga vida útil, de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable.

Su construcción es subterránea, lo cual lo protege contra bajas temperaturas (Hilbert, 2003).

Presenta costos de construcción más bajos que el biodigestor de campana flotante tipo hindú.

Desventajas:

La presión de gas no es constante; y puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas; y, (Hilbert, 2003).

C. BIODIGESTOR TUBULAR O DE FLUJO PISTÓN

La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilina, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002). La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes (Vargas 1992; Pedraza et al. 2002).

Ventajas:

Sus materiales de construcción son de fácil transporte e instalación.

Por su construcción horizontal, resulta apropiado para sitios con nivel freático alto.

Es el tipo de biodigestor de menor costo de construcción y operación.

Desventajas:

Las presiones alcanzadas por el gas son relativamente bajas.

Presenta una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; Debe protegerse contra los rayos solares.

El material plástico puede sufrir daños; siendo conveniente protegerlo o cerrar el área adyacente al biodigestor. (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002)

CAPÍTULO 2: EL BIOGÁS

Es una mezcla gases obtenida por degradación microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Está formado por metano (CH_4) en una proporción, que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como:

- hidrógeno (H_2),
- nitrógeno (N_2),
- oxígeno (O_2) y
- sulfuro de hidrógeno (H_2S)

1. APLICACIONES DEL BIOGÁS

Gráfico N° 1: Usos del Biogás



Fuente: Manual de Producción de BIOGAS. INTA Castelar

Para cocinar: Las cocinas y calentadores son fácilmente adaptables al uso de biogás como combustible, agrandando el paso del gas de los quemadores.

Iluminación: Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Refrigeración: Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Calefacción: Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criaderos y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

Motores de combustión interna y nafteros: El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel, tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido. En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%. A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original. La proporción de H₂S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios. Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural.

Generadores de electricidad: El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

Algunos ejemplos de la eficiencia de distintos artefactos usando biogás, se muestran en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2: Consumo y eficiencia de distintos artefactos usando BIOGAS

Artefacto	Consumo	Rendimiento (%)
Quemador de cocina	300 – 600 l / h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 – 170 l / h	30 – 50
Heladera de 100 L	30 -75 l / h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m ³ / kwh Hph	25 – 30
Quemador de 10 kW	2 m ³ / h	80 - 90
Infrarrojo de 200 Kw	30 l / h	95 – 99
Cogenerador	1 kw electricidad 0,5 m / kwh: 2 kw térmica	Hasta 90

Fuente: Manual de Producción de BIOGAS. INTA Castelar

2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DEL BIOGAS:

A. TIPO Y CONCENTRACIÓN DE SUSTRATO (NUTRIENTES DISPONIBLES)

(Cornejo Ramirez, E. 2012)

Ver también Tabla n° 1

- Residuos vegetales, de cosechas y de poda
- Residuos de origen animal.
- Deyecciones ganaderas
- Residuos de origen humano.
- Aguas residuales orgánicas agroindustriales (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general)
- Efluentes de determinadas industrias químicas
- Mantillo forestal
- Plantas acuáticas.



Tabla N° 1: Potencial de biogás de distintos sustratos

Sustrato	Materia seca	Biogas	Metano	Electricidad (35%)	Calor (50%)
	[%]	[m3/MF]	[%]	[kwh el./t]	[kwh t./t]
Purin porcino	6	20	60	42	59
Lacto suero	8,5	58,5	53	109	154
Pulpa de papa	19	108	50	189	268
Contenido estomacal	15	60	55	116	164
Grasas de matadero	28	266	67	618	883
Desechos de pastelería	88	650	53	1195	1707

Fuente: BIOGAS 3. Webinar. Paz Gómez. AINIA

El proceso microbiológico **no** sólo requiere fuentes de carbono y nitrógeno sino también sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Generalmente la materia orgánica como los estiércoles y lodos cloacales presentan dichos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo cuando se emplean ciertos desechos industriales puede ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina, como los **residuos de poda**, no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo que refiere a **estiércoles animales**, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que haya recibido.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen difícil la comparación de resultados, por lo tanto los valores sólo son orientativos.

El volumen de estiércol producido por distintas especies animales, es variable de acuerdo fundamentalmente al peso, tipo de alimentación y manejo de los mismos. Ver Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento

Especie	Peso vivo	Kg estiércol/día	l/kg S.V.	% CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	340 – 550	65 – 70
Vacunos	400	25 -40	90 – 310	65
Equinos	450	12 – 16	200 – 300	65
Ovinos	45	2,5	90 – 310	63
Aves	1,5	0,06	310 – 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	-----

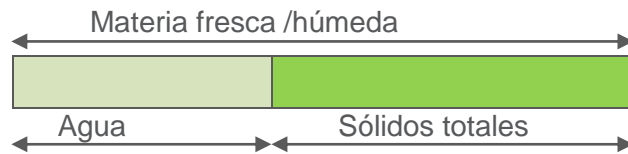
Fuente: Manual de Producción de Biogás. INTA Castelar

B. CONTENIDO DE SÓLIDOS

(Gomez, P. 2015 WEBINAR, 3)

¿Qué parte de los residuos permite producir BIOGAS?

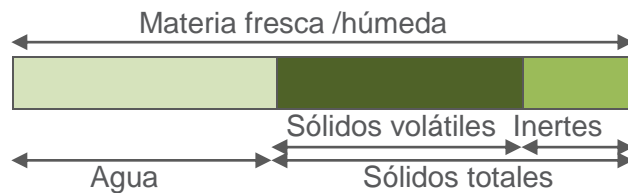
- **Sólidos totales:** toda la materia, orgánica e inorgánica, que queda como residuo después de la evaporación del agua a 105°C.



Importancia en la digestión anaerobia:

- ✓ Humedad adecuada para el desarrollo del proceso biológico
- ✓ Aspectos hidráulicos: bombeo, agitación, etc.

- **Sólidos volátiles:** materias, generalmente orgánicas, que pueden separarse de una muestra por calcinación (550°C), y dejan residuos sólidos inorgánicos no volátiles (cenizas).



Importancia en la Digestión anaerobia:

- ✓ Parámetro que cuantifica la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos y por tanto susceptible de ser transformada en BIOGAS.
- ✓ Control del proceso continuo: para evitar sobrecargas orgánicas.

Con el aumento de contenido de sólidos en la mezcla a digerir, la movilidad de las bacterias puede verse disminuida, y por lo tanto, afectada la producción de biogás. Pero en este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje óptimo de sólidos oscila entre el 8% y el 12%. La Agitación es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el substrato.

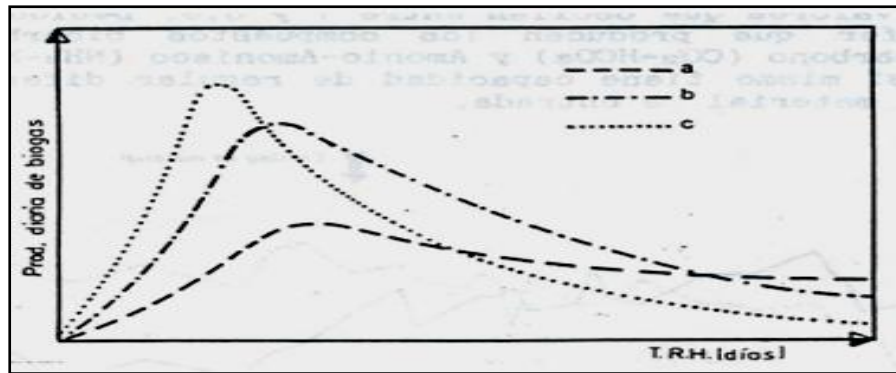
C. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA. (TRH)

(Manual de Biogas. INTA Castelar)

En los digestores continuos y semicontinuos, el TRH se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. Está en relación con dos factores: tipo de sustrato y temperatura del mismo.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con alta proporción de carbono en moléculas resistentes como celulosa y lignina demandarán mayores TRH para digerirse. En la Figura N° 1 se observa la relación entre el TRH y la producción diaria de gas en sustratos con distintas proporciones de celulosa.

Figura N°1: Producción diaria de biogás y TRH de diferentes sustratos



Referencias: **a)** Pasto verde; **b)** Estiércol vacuno; **c)** Paja

Algunos ejemplos de TRH son:

MATERIA PRIMA	T.R.H.
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

El límite de los TRH está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido, la cual debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias presentes dentro del reactor.

D. VELOCIDAD DE CARGA VOLUMÉTRICA:

Es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor; está en relación inversa con el Tiempo de Retención Hidráulica TRH, ya que a medida que se incrementa la carga volumétrica, éste disminuye. Se expresa de distintas formas, pero las más usuales son: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día; todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos totales se obtienen sometiendo el sustrato a desecación a 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco) / peso húmedo.

El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente: $1 - [(peso\ seco - peso\ ceniza) / peso\ seco]$.

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

E. CÁLCULO DE LA ALIMENTACIÓN DIARIA: *(Cornejo Ramirez, E. 2012)*

- A partir del día en que se alcance la máxima producción de biogás con la mezcla estiércol-agua cargada en el biodigestor al inicio; el cual se estima en clima cálido en 30 días y en clima frío en 50 días; se deberá alimentar diariamente el biodigestor.

- Asumiendo un TRH de 45 días, calculamos la cantidad de mezcla estiércol - agua que se debe alimentar diariamente al biodigestor a partir del día 46:

$$9\ m^3 / 45\ días = 0.2\ m^3/día = 200\ L/día = 1\ cilindro/día.$$

- La mezcla estiércol-agua se preparará en proporción (1:5)

Un ejemplo:

Un Biodigestor de tamaño promedio para una familia rural tiene un volumen total de 7,2 m³, con una fase líquida de 5,1 m³ (75 % del total de la capacidad) y 1,8 m³ para el almacenamiento del biogás (25 % del total de su capacidad).

EL BDP recibe una carga diaria de 21,6 kg de excrementos frescos mezclados con 86,4 kg de agua. Esto representa una carga anual de 7 885 kg de excrementos frescos y 31 536 kg de agua.

Ocho cerdos adultos o una vaca lechera adulta (confinada a tiempo completo) pueden producir la cantidad necesaria por día *(Botero y Preston, 1986)*.

F. TEMPERATURA DEL SUSTRATO

Para dar comienzo al proceso de producción de BIOGAS es necesario una temperatura mínima de 4° a 5° C, y debe mantenerse sin sobrepasar los 70°C. Se diferencian tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada uno. Ver **Tabla N° 3**

Tabla N°3: Clasificación de las bacterias por sus rangos de temperaturas de crecimiento

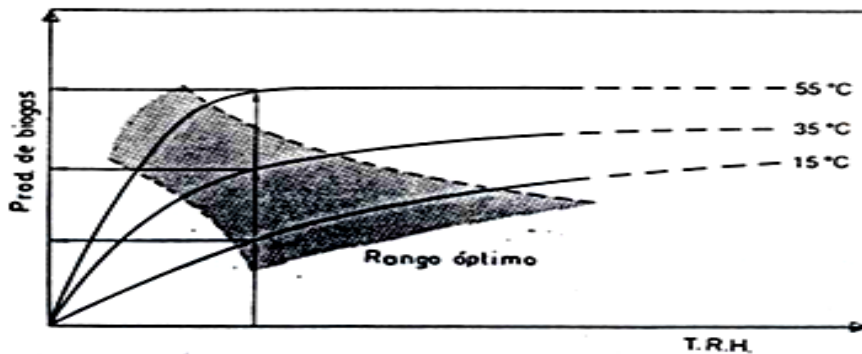
Bacterias	Rango de Temperaturas	Sensibilidad
Psicrofílicas	menos de 20°C	+ - 2°C / hora
Mesofílicas	entre 20°C y 40°C	+ - 1°C / hora
Termofílicas	más de 40°C	+ - 0,5°C / hora

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura.

Un aspecto importante a considerar es que el proceso por sí mismo no genera altas temperaturas, por lo cual ésta debe lograrse y mantenerse mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas.

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de elegir un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digester ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas, paralelamente aumentarán los costos de instalación y la complejidad de la misma. Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislación y control; los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas. La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digester para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa. Ver **figura N° 2**.

Figura N° 2: Tiempo de retención (TRH) y rendimiento de biogás según temperatura del proceso.



Fuente: Manual de BIOGAS. Minenergía/PNUD/FAO/GEF. Chile 2011

G. RELACIÓN CARBONO / NITRÓGENO

La relación óptima de C / N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de Nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento de las bacterias debido a falta de Nitrógeno.

Características de las bacterias metanogénicas:

- Son muy sensibles al oxígeno y a los óxidos.
- Sólo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicos e inorgánicos más sencillos.
- Crecen con bastante lentitud.
- Cuando el contenido de oxígeno, en el sustrato de fermentación llega a 0.8 ml., se retardará su crecimiento.

H. ACIDEZ

En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (5). Una vez estabilizado el proceso fermentativo, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8. Debido al efecto buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono (CO_2 - HCO_3) y Amonio -Amoníaco (NH_4 - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada. (Cornejo Ramirez, E. 2012)

Para la fermentación anaerobia el pH debe ser neutro.

- Si el pH > 8 la carga corre riesgo de putrefacción.
- Si el pH < 6 indica descompensación entre fase ácida y metanogénica, pudiendo bloquearse la producción de metano.

Las bacterias metanogénicas trabajan óptimamente en los siguientes rangos:

Alcalinidad: 1500 – 5000 mg/l : CaCO_3

Valor ph: 6,5 – 7,5 (óptimo)

Ácidos volátiles: 600 – 1500 mg /l

I. AGENTES PROMOTORES E INHIBIDORES DEL PROCESO

(Manual de BIOGÁS. Minenergía/PNUD/FAO/GEF. Chile 2011)

Los agentes promotores fomentan la degradación de la materia orgánica y aumentan la producción de biogás; entre ellos, cuentan varias enzimas, sales inorgánicas; el agregado de urea, que acelera la producción de metano; el Carbonato de Calcio, que aumenta la generación de gas y puede acrecentar el contenido de metano en el gas.

Por otro lado, concentraciones elevadas de ácidos, amoníaco y nitrógeno, sales minerales, iones metálicos y algunas sustancias orgánicas como detergentes, desinfectantes y agro-químicos ,aparte del oxígeno; inhiben la actividad de las bacterias metanogénicas.

La fase metanogénica también es inhibida por varias sustancias tóxicas, como los metales pesados, el cadmio, el cobre, el cromo, el níquel, el plomo y el zinc.

Cuando se considera la alimentación de un digestor debe tenerse en cuenta que añadir en exceso un sustrato también puede inhibir el proceso de digestión porque cualquier constituyente de un sustrato puede tener un efecto dañino en las bacterias si su concentración es demasiado alta. Esto aplica en particular a sustancias como los antibióticos, desinfectantes, solventes, herbicidas, sales y metales pesados que en cantidades incluso pequeñas pueden inhibir el proceso de descomposición. La introducción de antibióticos generalmente se atribuye a la adición de bosta agrícola o grasas animales, aunque el efecto inhibitorio de los antibióticos específicos varía mucho.

Algunos oligoelementos esenciales para el desarrollo de las poblaciones bacterianas en las distintas fases del proceso, pueden también ser tóxicos para los microorganismos si están presentes en concentraciones excesivamente altas. Sin embargo, como los microorganismos son capaces de adaptarse a dichas sustancias hasta cierto grado, es difícil determinar la concentración en la cual una sustancia se torna dañina.

Algunos compuestos sólo resultan inhibidores cuando actúan con otras sustancias. Por ejemplo, los metales pesados sólo tienen un impacto dañino sobre el proceso de digestión si están presentes en solución. De cualquier manera, están enlazados por el sulfuro de hidrógeno, que se forma también en el proceso de digestión, y se precipitan como sulfuros poco solubles. Debido a que el SH_2 se forma casi siempre durante la fermentación del metano, no se espera generalmente

que los metales pesados perturben el proceso. Sin embargo, esto no es igualmente válido para los compuestos de cobre, que son tóxicos incluso en concentraciones muy bajas (40-50 mg / l) debido a su efecto antibacteriano. En los establecimientos agrícolas pueden entrar en el ciclo de producción por la desinfección de las instalaciones de los animales, por ejemplo.

En el transcurso de la fermentación, se forma toda una gama de sustancias capaces de inhibir el proceso, pero la gran adaptabilidad de las bacterias no permite establecer límites absolutos aplicables universalmente. En particular, incluso las bajas concentraciones de amoníaco libre (NH_3) tienen un impacto dañino sobre las bacterias. Este amoníaco libre está en equilibrio con la concentración de amonio (NH_4^+) (el amoníaco reacciona con el agua para formar amonio y un ión de OH^- y viceversa). Esto significa que con un valor de pH cada vez más alcalino, es decir, a medida se eleva la concentración de iones OH^- , el equilibrio cambia y la concentración de amoníaco se incrementa. Una elevación del valor de pH de 6,5 a 8,0, ocasiona un incremento de 30 veces de la concentración de amoníaco libre.

Una elevación en la temperatura dentro del digester resulta también en un cambio en el equilibrio en la dirección del amoníaco con su efecto inhibidor. Para un sistema de digestión que no está adaptado a las altas concentraciones de nitrógeno, el umbral de inhibición cae en un rango de 80 a 250 mg/l NH_3 . Dependiendo del valor de pH y de la temperatura de la digestión, esto es equivalente a una concentración de amonio de 1,7-4 g/l. La experiencia muestra que la inhibición del nitrógeno del proceso de biogás puede esperarse a una concentración total de nitrógeno amoniacal de 3000-3,500 mg/l.

Otro producto del proceso de digestión es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que cuando está disuelto y no disociado puede inhibir el proceso de descomposición en forma de citotoxina en concentraciones de apenas 50 mg/l. A medida que cae el valor de pH, la proporción de H_2S libre se eleva, incrementando el riesgo de inhibición. Una manera posible de reducir la concentración de H_2S es mediante la precipitación como sulfuros con ayuda de iones de hierro. El H_2S también reacciona con otros metales pesados y es enlazado y sale en forma de precipitado acompañado por la formación de iones de sulfuros (S_2^-). Sin embargo, como se mencionó previamente, el azufre también es un macronutriente importante. Como se necesita una concentración adecuada de azufre para la formación de enzimas, la precipitación excesiva en la forma de sulfuros puede, a su vez, inhibir la metanogénesis. El efecto inhibitorio de una sustancia dada depende entonces de una serie de factores distintos y es difícil definir valores límites fijos. La Tabla 4. muestra una lista de varios inhibidores comunes.

Tabla 4: Concentración inhibidora de inhibidores comunes

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg./l
Ni	200- 500 mg./l
CN	25 mg./l
Detergente sintético	[20-40 mg./l]
Na	[3500-5500 mg./l]
K	[2500-4500 mg./l]
Ca	[2500-4500 mg./l]
Mg	[1000-1500 mg./l]

Fuente: Manual de BIOGAS. Minenergía/PNUD/FAO/GEF. Chile 2011

Nota:

- los valores puntuales indican los valores a partir de los cuales las concentraciones resultan inhibitorias.
- Los rangos indican los valores mínimos a partir de los cuales las concentraciones de los nutrientes empiezan a retardar el proceso de la biodigestión anaerobia, y los valores máximos, a partir de los cuales, la reacción queda totalmente impedida.

J. AGITACIÓN

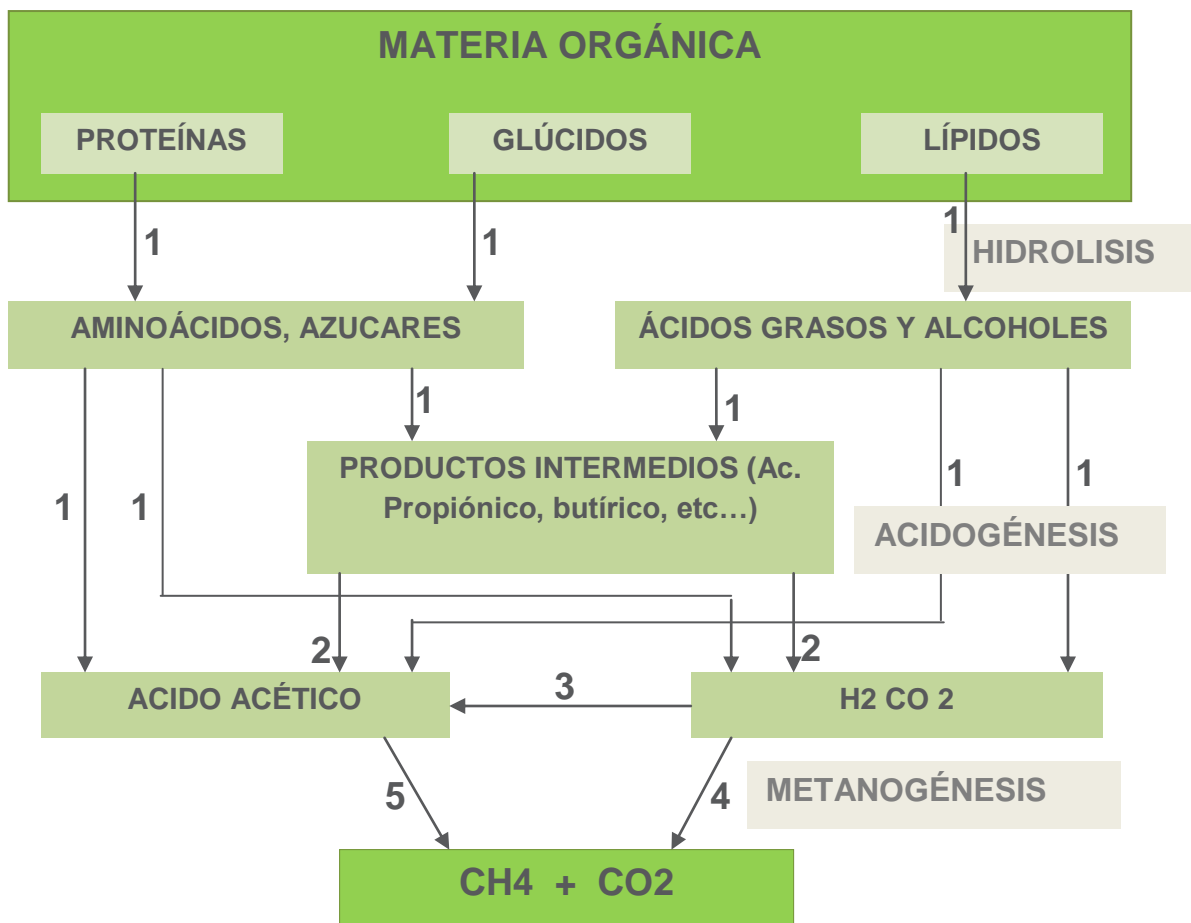
La agitación del biodigestor es un factor importante, ya que distribuye el sustrato por todo el sistema ayudando a que las bacterias entren en contacto con el mismo; lo cual favorece una mayor y más rápida digestión de la biomasa, acortando los tiempos de retención hidráulica, y acelerando en consecuencia los tiempos de producción de biogás.

3. FASES DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS:

(Diseño de Bioles y Aplicaciones, INIA 2008)

SE DIVIDE EN TRES FASES, que se explican en el Gráfico N° 2

Gráfico N°2 : Fases de Producción de BIOGÁS



Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas. **Fuente:** manual de Biogas. Chile 2011

1. Hidrólisis y fermentación:

La materia orgánica es descompuesta por la acción de enzimas extracelulares (celulasa, amilasa, proteasa y lipasa) de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las largas cadenas de moléculas solubles en agua, como las grasas, proteínas y carbohidratos, transformándolos en monómeros y compuestos simples solubles.

Las bacterias involucradas en esta etapa son Bacterias hidrolíticas y fermentadoras.

2. Acidogénica, acetogénica y deshidrogenación:

Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos (compuestos intermedios) se degradan produciendo ácido acético, CO_2 e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas. Las bacterias productoras de ácidos, involucradas en este paso, convierten los productos intermedios de las bacterias de fermentación en ácido Acético, Hidrógeno y Dióxido de Carbono. Estas bacterias son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético necesitan oxígeno y carbono, para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución. Debido a esto, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es fundamental para los microorganismos productores de metano. Además reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, CO_2 , SH_2 y trazas de CH_4 .

Las bacterias involucradas en esta etapa son:

- Bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintroficas)
- Bacterias homoacetogénicas;

3. Metanogénica:

En esta etapa, gracias a la actividad de bacterias metanogénicas, se produce metano a partir de compuestos de bajo peso molecular, como el CO_2 , el hidrógeno y el ácido acético obtenidos de la etapa anterior. La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión.

En condiciones naturales, las bacterias que producen metano, ocurren en la medida que se proporcionen condiciones anaerobias, por ejemplo bajo en agua (como en los sedimentos marinos), en los estómagos de rumiantes y en pantanos. Son obligatoriamente anaerobias y muy sensibles a cambios ambientales; pertenecen al grupo de las arqueas, y se diferencian de las bacterias acidogénicas fundamentalmente por la estructura de su pared.

Las bacterias involucradas en esta etapa son Bacterias metanogénicas anaeróbicas obligadas.

4. VENTAJAS DEL USO DE BIODIGESTORES:



Producciones: Mejora la capacidad fertilizante del estiércol.

Además del **BIOGAS**, el proceso de biodigestión anaeróbica en los biodigestores, también produce un subproducto, biofertilizante con excelentes propiedades; que puede separarse en una fase líquida **BIOL** y otra sólida **BIOSOL**.

Este bio-abono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un excelente fertilizante que puede competir o complementarse con otros abonos orgánicos (humus y compost) y los fertilizantes químicos. No posee mal olor, a diferencia

del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (*Mc Caskey, 1990*); o bien el bioabono sólido, BIOSOL puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente teniendo en cuenta que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización de hasta 60%, sobre todo de nitrógeno. Según *Mandujano (1981)*, un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha⁻¹ de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. **Para mayor información consultar el Capítulo 3 de este trabajo, sobre BIOFERTILIZANTES.**

Diversidad de usos: Alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor, tratamiento de residuos, producción y aprovechamiento de biofertilizante

Ambiente: Controla patógenos. Controla olores. Reduce la contaminación de las aguas superficiales con estiércol y otros desechos orgánicos. El aprovechamiento de la materia orgánica, reduce el volumen de basura destinada a los vertederos, reduciendo focos de infección y moscas.

Tecnología sostenible: Al ser una tecnología sencilla, es accesible a cualquier persona sin conocimientos previos. Basta con instalar de forma guiada un biodigestor para conocer a fondo la tecnología, su manejo diario, su mantenimiento y modalidad de reparaciones. Todos los materiales se pueden conseguir en el mercado local, sin ser necesario importar nada del extranjero.

Baja inversión: El costo de un biodigestor familiar depende de su tamaño y este depende del clima. En climas fríos, el costo en materiales es entorno a 250 dólares americanos, mientras que en climas tropicales baja a 150 dólares. La inversión se recupera en dos a tres años por los ahorros producidos en gasto en combustible, tiempo y mejora de la producción.

CAPÍTULO 3: USOS DEL DIGESTATO DE LOS BIODIGESTORES:

Los Biofertilizantes



Como resultado de la fermentación dentro del biodigestor, se obtiene un lodo o fango – **digestato** - de alta calidad agronómica, que en proporción del peso y volumen con los residuos entrantes es 0,9 a 1. Este sub-producto de la biodigestión anaeróbica, es un excelente biofertilizante que puede separarse en dos partes:

- A. la parte líquida, conocida como **Biol**, que representa el mayor volumen
- B. la parte sólida, conocida como **Biosol**.

Ambos componentes tienen extraordinarias cualidades agronómicas beneficiosas para los cultivos. El valor de los nutrientes (P, K, N, Mg, etc.) del biofertilizante en comparación a los residuos entrados es casi 1:1, dependiendo de los residuos a fermentar y del método de separación empleado. (Aparcana Robles, S. & Jansen, A. 2008).

Tabla N° 5: Producción de BIOL y BIOSOL a partir de mezcla de estiércol de Vaca y Ensilado de Maiz

	Materia Total [t / año]	BIOSOL Materia Orgánica seca total [t / año]	BIOL Líquido total [t/año]
Entrada	2000	328	1672
Salida	1802	132	1669
Productos de salida	90, 11%	7,35%	92,65%

Fuente: Aparcana Robles, S. & Jansen, A, 2008

1. BIOL o Fertilizante Líquido



Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en BIOL, esto depende naturalmente del tipo de material a fermentar y de las condiciones de fermentación. Es muy útil para ser aplicado en los sistemas de riego. El BIOL mejora el rendimiento de los cultivos hasta un 30%. Puede usarse como fertilizante foliar, o directamente sobre la tierra, como pretratamiento sobre las semillas. . Si se tiene vacas lecheras, el empleo del fertilizante sobre los cultivos forrajeros como la alfalfa, aumenta su producción y calidad, y esto repercute en una mayor producción de leche de las vacas.

1.1. Objetivos del uso del BIOL:

- Complementar la nutrición de las plantas para asegurar mayor rendimiento de producción, incrementando también la calidad de los cultivos
- Revitalizar las plantas que sufren estrés, ya sea por plagas, enfermedades o interrupción de sus procesos normales de desarrollo mediante una oportuna, sostenida y buena nutrición
- Asegurar una mejor calidad de los productos en su presentación, durabilidad, manipulación y conservación, además de mayor peso en kilogramos por unidad de superficie
- Ofrecer alimentos libres de residuos químicos

1.2. Composición Química del BIOL:

Tabla N° 6: Composición Química del Biol

Componente	Fuente:	Fuente:
	Estiércol de vacuno	Mezcla de estiércol de vacunos y restos de comida casera
Ph	7,96	8,1
Materia Seca	4,18%	4,2%
Nitrógeno total	2,63 g /kg	2,4 g /kg
NH4	1,27 g /kg	1,08 g /kg
Fósforo	0,43 g /kg	1,01 g /kg
Potasio	2,66 g /kg	2,94 g /kg
Calcio	1,05 g /kg	0,5 g /kg
Magnesio	0,38 g /kg	Sin datos
Sodio	0,404 g /kg	Sin datos
Azufre	0,33 g /kg	Sin datos

1.3. Ventajas del BIOL:

⊙ Puede elaborarse en base a insumos que se encuentran en la localidad, puede usarse cualquier tipo de estiércol y de plantas, dependiendo de la actividad ganadera (vacunos, ovinos, caprinos, aves y la diversidad vegetal de la región)

⊙ Permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello amplía la bio-disposición de nutrientes para las plantas. A su vez, por su contenido de nutrientes en solución, aumenta las propiedades higroscópicas del suelo, colaborando a mantener la humedad del mismo y sus capacidades de absorción de agua; generando un microclima adecuado para el crecimiento de las raíces de las plantas y el desarrollo de microfauna benéfica para los cultivos.

- ⊙ Puede emplearse como fertilizante líquido (rociado o por aspersion)
- ⊙ Se puede aplicar junto con el agua de riego en sistemas automáticos de irrigación.
- ⊙ Es una fuente orgánica de fito-reguladores, que, en pequeñas cantidades son capaces de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas.
- ⊙ Colabora al enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular)
- ⊙ Estimula el desarrollo del follaje (amplia la base foliar)
- ⊙ Mejora la floración, activa el vigor y poder germinativo de las semillas.

*El uso del BIOL es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces, flores y frutos, gracias al contenido de **Hormonas vegetales**, que son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de la fermentación anaeróbica (que no se presentan en el compost). Estos beneficios hacen que se requieran menores cantidades de fertilizante mineral u otro empleado. Ver Tabla N° 7: Composición Bioquímica del BIOL.*

1.4. Composición Bioquímica del BIOL

Tabla N° 7: Composición Bioquímica del BIOL

Componentes	Cantidad [ng /g]
Acido Indol Acético	9,0
Giberelinas	8,5
Purinas	9,3
Citoquininas	No detectado
Tiamina (Vit B1)	259,0
Riboflavina (vit B2)	56,4
Adenina	No detectado
Acido Fólico	7,7
Acido Pantoténico	142,0
Triptófano	26,0
Inositol	No detectado
Biotina	No detectado
Niacina	No detectado
Cianocobalamina (Vit B12)	4,4
Piridoxina (Vit B6)	8,6

Fuente: Aparcana, S. 2005

Las hormonas vegetales son fitohormonas que se definen como fito-reguladores del desarrollo producidas por las plantas. Hay 5 grupos principales: Adeninas, Purinas, Auxinas, Giberelinas y Citoquininas; todas, estimulan la formación y fortalecimiento de raíces, inducen a la floración, fructificación, crecimiento de tallos y hojas, etc. El BIOL, cualquiera sea su origen, cuenta con estas fitohormonas por lo que encuentra un lugar importante dentro de la Agricultura Orgánica, abaratando costos, acortando tiempos, mejorando la productividad y la calidad de los cultivos.

2. BIOSOL o Fertilizante Sólido



Es el resultado de separar la parte sólida del fango resultante de la fermentación anaeróbica dentro del Biodigestor. Dependiendo de la tecnología empleada, puede contener entre un 10 y un 25% de humedad, que es en sí misma BIOL residual. Su composición depende de los residuos que se emplearon para su elaboración.

Es un fertilizante sólido similar al compost.

Puede emplearse sólo o en conjunto con compost, humus o con fertilizantes químicos.

Se emplea entre 2 a 4 Ton/ha dependiendo del tipo de cultivo y el tipo de suelo.

Se puede incluir junto con el Biol en la preparación del suelo antes de colocar las semillas.

2.1. Composición química del BIOSOL proveniente de estiércol vacuno

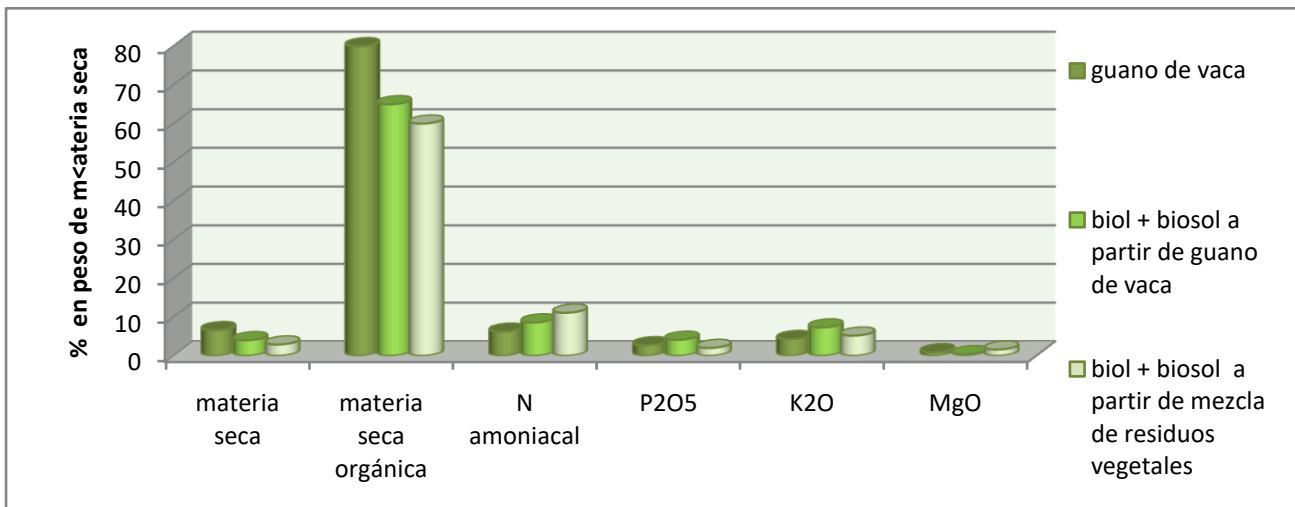
Tabla N° 8: Características generales del BIOSOL fresco después de la fermentación de Estiércol Vacuno

Componentes	[%]
Agua	15,7
Sustancia orgánica seca	60,3
ph	7,6
Nitrógeno total	2,7
Fósforo P2 O5	1,6
Potasio K2 O	2,8
Calcio (Ca O)	3,5
Magnesio (Mg O)	2,3
Sodio (Na)	0,3
Azufre (S)	0,3
Boro (B) ppm	64,0

Fuente: Aparcana, S. 2005

Esta composición corresponde a un BIOSOL proveniente de estiércol de vacuno, que si bien es el más común, es uno de los más bajos en nutrientes, ya que es un material que ha sido parcialmente digerido por el rumiante; por lo cual no contiene muchos nutrientes. Para mejorar la calidad del BIOSOL, es conveniente mezclar el estiércol con residuos vegetales que aún no han sido digeridos, como son los residuos de cosechas, de podas y los restos de la cocina.

Gráfico N°3 : Contenido de nutrientes del estiércol de vaca, del biofertilizante proveniente del estiércol vacuno y de mezcla de residuos vegetales



Fuente: Manual de Biogas 2003

2.2. Ventajas de la aplicación de Biosol:

- ⦿ Fortalece los cultivos, mejorando los rendimientos.
- ⦿ Permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la estructura y la calidad del mismo.
- ⦿ Confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes del suelo.
- ⦿ Mejora la estructura del suelo, y la capacidad de retención de la humedad del mismo, favoreciendo la actividad biológica en el mismo.
- ⦿ Mejora la porosidad y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- ⦿ Puede ser combinado con la materia que va a ser compostada, con el fin de acelerar el proceso de compostaje.
- ⦿ Reduce la necesidad del abono. Usualmente se emplean 2 a 4 Ton/ha. Si se empleara sólo estiércol se necesitaría de 15 a 30 Ton / ha. Y si se empleara compost, de 10 a 20 Ton / ha. dependiendo del tipo de cultivo y del tipo de suelo.
- ⦿ Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan las plantas
- ⦿ Reduce la erosión del suelo.
- ⦿ Cuenta con mayor disponibilidad de nutrientes (N, K, P, Fe y S)

Preparación del BIOFERTILIZANTE:

Diseño del BIOFERTILIZANTES en base al sustrato empleado:

(Diseño de Bioles y Aplicaciones, Meza, V. 2008)

Bioles con principios activos fungicidas, insecticidas, nematocidas:

Plantas biodinámicas Ej: Ajos, Cebollas, Kion, Cola de Caballo, Ruda, Canela, Manzanilla, Eucaliptus, Ortiga, *Lantana camara*.

Bioles con altos contenidos de macronutrientes N, P, K:

Plantas leguminosas

Resíduos pesqueros, contienen abundante quitina

Extractos de micro y macroalgas

Agregado de bacterias fijadoras fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*)

Bioles energéticos y reguladores:

Poseen altos contenidos de nutrientes energéticos, y macro, micronutrientes y elementos traza, que regulan los procesos fisiológicos de las plantas.

Productos lácteos: leche, yogurt, suero de leche.

Fuente de abundantes peptonas: sangre, Sanguaza, Algas

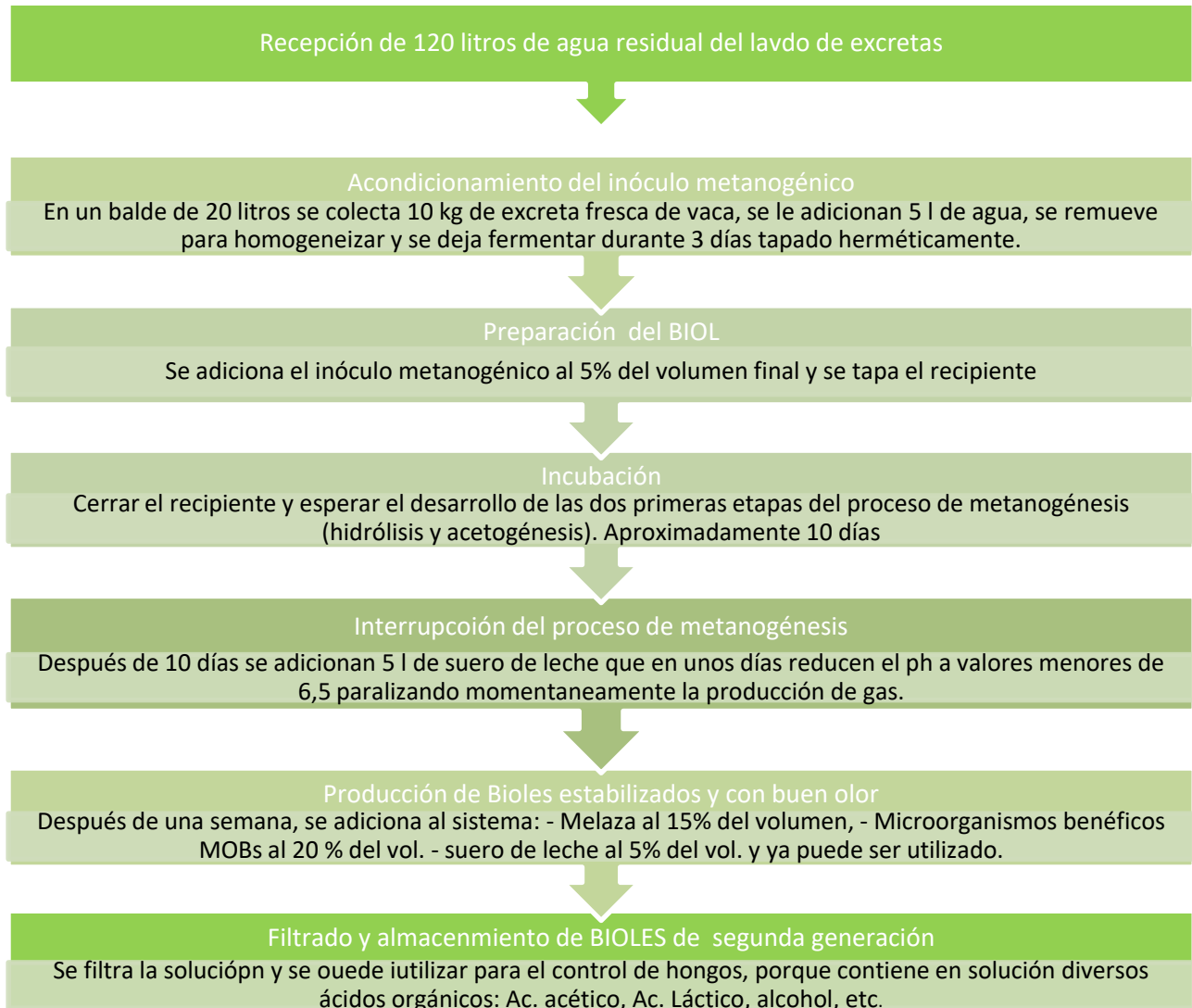
Fuente de diferentes azúcares: Melaza, Chancaca (Panela), Aguamiel, Azúcar rubia. Resíduos agroindustriales azucarados

Agregado de inóculo metanogénico

Recomendaciones para la obtención de BIOFERTILIZANTES de alta calidad:

- Realizar el pretratamiento de los estiércoles para reducir los grupos cisteínas y reducción de patógenos y de la formación de SH₂
- Utilizar sustratos bioactivos que le otorguen al BIOFERTILIZANTE capacidad plaguicida o capacidad nutriente o capacidad protectora o capacidad degradativa, etc.
- Paralizar el proceso metanogénico y orientar en el BIO-ABONO en formación, la producción de ácidos orgánicos y alcoholes como (Ac. Acético, Ac. Láctico, Ac. Propiónico, etanol, metanol, amins volátiles, quitinas modificadas, aldehídos, cetonas, aminoácidos libres, entre otros, que le dan identidad al BIOFERTILIZANTE.
- Obtener BIOFERTILIZANTES agradables o moderados "cero moscas, cero malos olores".

Flujo de Producción de BIOL y BIOSOL:



ALGUNAS RECETAS....

Para preparar 100 litros de biol:

Receta 1:

- 5 kg de leguminosas (alfalfa, pasto, follaje de haba y otras leguminosas)
- 3 litros de melaza o 3 kg azúcar rubia
- 25 kg de estiércol o guano fresco
- 5 litros de chicha de cebada
- 1 kg de sal
- 2 kg de ceniza
- 100 gramos de cáscara de huevo (molido)
- 6 litros de suero de leche

Receta 2:

- 15 kg de estiércol vacuno fresco
 - 3 kg de estiércol de conejo
 - 2 kg de gallinaza
 - 2 kg de estiércol de cerdo
 - 2 kg de azúcar
 - 1 kg de sal mineral
 - 2 kg de ceniza
 - 100 gramos de cáscara de huevo (molido)
 - 1 litro de suero de leche
- Plantas repelentes como Ajo, Eucaliptus, etc.

Cosecha del biofertilizante:

La condición adecuada para la cosecha del biol es cuando el color del agua de la botella descartable donde está colocada la manguera es verdusco. Esta coloración se debe a que el líquido del biodigestor ya terminó de emitir los gases resultantes de la degradación del biol.

Para la cosecha necesitaremos:

- Una malla para tamizar
- Baldes para depositar el biol
- Botellas descartables para guardar el biol
- Guantes de latex y mascarillas

Procedimiento:

1. Abrir la tapa del biodigestor y con un depósito (balde pequeño), extraer el líquido (biol) que está en la parte superior del bidón.
2. Cernir el biol en la malla antes de almacenarlo en los depósitos definitivos (botellas descartables)
3. Extraer la parte sólida (pastosa) **BIOSOL** restante en el bidón, que podrá ser usada como abono orgánico. Opcionalmente, podemos invertir el procedimiento de extracción, primero retirar los residuos sólidos BIOSOL, y luego el biol líquido

Condiciones de Almacenamiento:

El Biofertilizante debe conservarse protegido del sol y cerrado herméticamente. Antes de usarse debe agitarse para homogeneizarlo.

Recomendaciones para la Aplicación:

- Antes de aplicar el biol, mezclarlo con agua para evitar el quemado del follaje
- Usar el BIOSOL como abono; incorporándolo alrededor de las plantas
- Cuando el terreno se ha arado, se puede usar el fertilizante para regar cada surco
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o granos en una mezcla de 1 a 1 de BIOL con agua por un tiempo de 4 a 5 hs.
- Una vez en crecimiento la planta, se puede aplicar el BIOL como fertilizante foliar en una dilución 1:4 con agua.
- Funciona muy bien aplicar tras una helada, como también cuando empieza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta.

CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS BIOFERTILIZANTES

(Botero y Thomas, 1987)

● La composición promedio de los biofertilizantes es la siguiente:

- 8,5 % de materia orgánica
- 2,6 % de nitrógeno (N)
- 1,5 % de fósforo (P)
- 1,0 % de Potasio (K)
- pH de 7,5

● En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+). Se reduce el Nitrógeno total y aumenta el amoniacal, mejorando su disponibilidad para la planta, de manera que puede ser aprovechado directamente por la misma. (Buhigas, A., 2010)

● Control de patógenos: aunque el nivel de destrucción de patógenos varía de acuerdo a factores como la temperatura y el tiempo de retención, se demostró experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de la biodigestión anaerobia. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35°C, los coliformes fecales fueron reducidos entre el 50 y el 70%, y los hongos en 95% en 24 horas. (Zuñiga, I. 2007)

● No poseen mal olor, a diferencia de los estiércoles frescos, no atrae moscas y puede aplicarse directamente en el suelo y en los cultivos donde se recomienda diluirlos en agua en las cantidades recomendadas.

● El biosol puede deshidratarse y almacenarse para su uso posterior o venta; en este caso puede ocurrir una pérdida de valoración del 60 % del Nitrógeno total del digestato (N).

● Un metro cúbico de biofertilizantes producidos en un biodigestor, aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 Kg de N ha/año, de los que estarán disponibles en primer año 60 y 70 Kg.

VALOR ECONÓMICO DEL BIOFERTILIZANTE Y POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN:

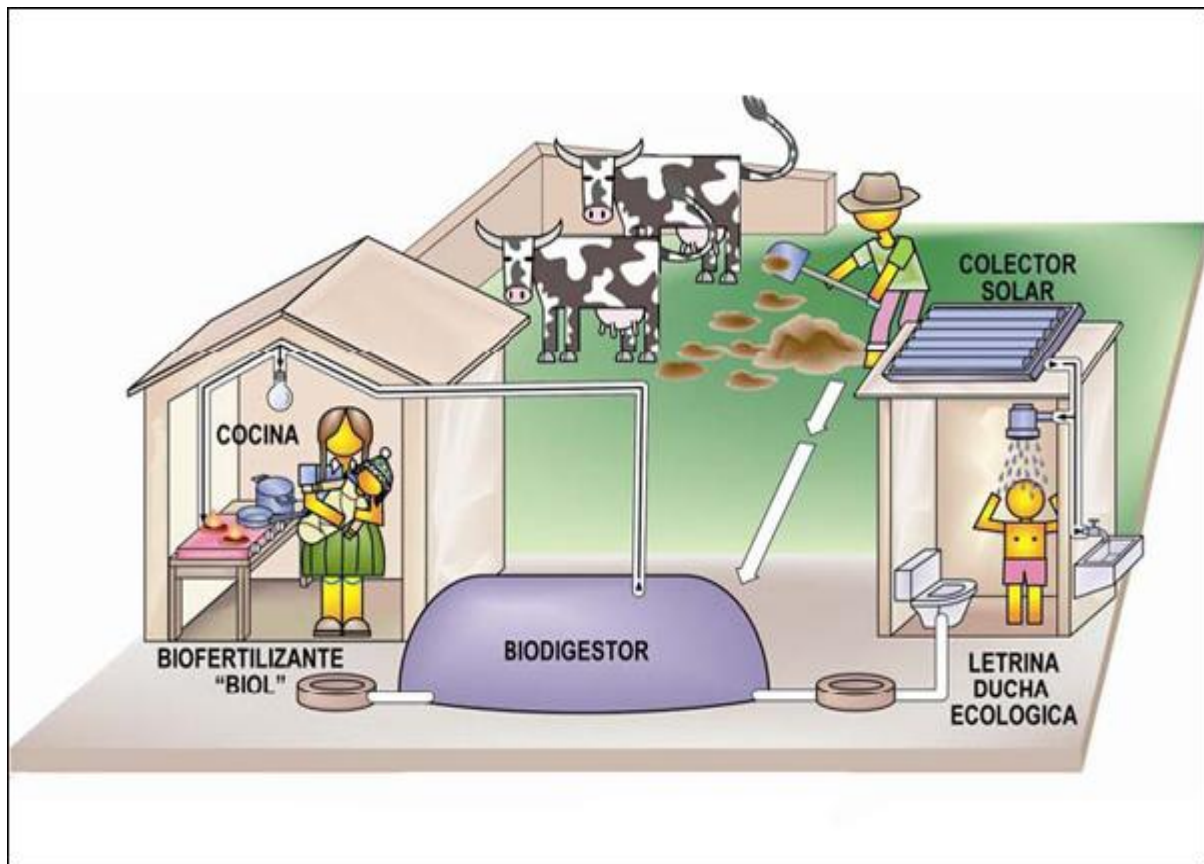
Una aproximación al valor del digestato como producto comercializable surge de su análisis en cuanto al contenido de los principales macronutrientes, Nitrógeno, Fósforo y Potasio; NPK y el resto de nutrientes presentes en su composición (micronutrientes y traza), comparándolo con el precio de las mismas cantidades de nutrientes; macro, micro y traza, suministradas a través de fertilizantes químicos que estén a disposición en el mercado. ***En esta valoración, falta ponderar la materia orgánica que contiene el efluente y de la cual carecen por completo los fertilizantes sintéticos.***

Es fundamental entender que no es correcto atribuir la misma influencia sobre el terreno y el cultivo a cantidades equivalentes de elementos químicos aplicados a través de un fertilizante sintético y uno orgánico, debido a que este último tiene una marcada influencia sobre otros factores, como ser la estructura, la capacidad de retención de agua y de intercambio del suelo. Una valoración real estaría dada por el efecto final de la aplicación del biofertilizante sobre los cultivos comparándola con la utilización del estiércol en su forma natural o con algún tipo de tratamiento, como el compostado. Esta sería la forma más correcta, pero al mismo tiempo la más difícil de evaluar debido a la multiplicidad de factores intervinientes, la falta de información confiable y la relatividad de los precios involucrados. [Obs. Pers.]

Los principales beneficios directos derivados de la aplicación de la biodigestión a bajo costo pueden incrementarse si el efluente se seca y se vende como fertilizante sólido a otros establecimientos a un precio mayor que el comercial.

La filtración y/o hidratación, respectivamente, del digestato o digerido dan como resultado formas sólidas o líquidas que pueden concentrarse, homogeneizarse y fácilmente ser transportadas y aplicadas a la tierra a través de los sistemas de riego por goteo existentes o el equipo para extenderlo en la superficie. Este proceso podría permitir a los productores rurales que trabajan con equipos de riego y fertilización comunes, suplementar o reemplazar su consumo de fertilizantes sintéticos por un biofertilizante producido con desperdicios de alimentos o estiércol animal de su propio establecimiento; reemplazando el uso de agroquímicos de síntesis por este tipo de abono natural cerrando el ciclo de la materia en el mismo lugar donde se produce. Así, un sistema de producción agroecológica integrada, podría sintetizarse en el siguiente gráfico:

SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA INTEGRADA



CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES FINALES

El proyecto de implementación de los Biodigestores para producción de Biogás y aprovechamiento de las cualidades fertilizantes y fitoregulatoras del efluente obtenido como subproducto, constituye un verdadero desafío para los sectores rurales en la Argentina. El desconocimiento generalizado, la escasa de regulación de muchos de los aspectos involucrados y/o la falta de implementación de las regulaciones vigentes, hacen difícil la puesta en práctica masiva de estas tecnologías; que son de fácil acceso, bajo costo de instalación y mantenimiento sencillo.

El objetivo de este material es acercar la tecnología a los pobladores rurales y a través de las escuelas agrarias, enseñar la metodología, con la intención de que se difunda y se replique.

Entendemos que el uso de estas tecnologías contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población rural; ya que plantea el manejo adecuado de los residuos humanos, animales y vegetales, mediante acciones sostenibles y acordes al equilibrio ecológico.

Por otro lado, los biodigestores mejorarán las explotaciones de pequeña escala, facilitando el control de la contaminación, y añadiendo valor agregado a la excreta del ganado y humano, mediante la producción de Biogás y el aprovechamiento del efluente como fertilizante.

La aplicación de esta tecnología deberá adaptarse a las condiciones locales y regionales, y su éxito dependerá de varios factores del lugar, como recursos económicos disponibles, materiales de construcción y mano de obra, disponibilidad de combustible tradicional, disponibilidad de estiércoles, restos vegetales y de la industria de los alimentos en general; utilización de los productos finales, área disponible, posibilidades de acopio y traslado de estos residuos; la idiosincrasia, la aceptación y la capacidad de introducir y modificar la tecnología para adaptarla a las posibilidades y necesidades locales.

Por último, a todos estos factores condicionantes, debe sumarse las posibilidades de acceso a líneas de crédito y a servicio de asistencia técnica; que deberán formar parte de una planificación política general.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparcana Robles, S. & Jansen, A, 2008. : **“Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaeróbica para producción de Biogas”**. German PrfoEC Gmbh Germán Prof EC – Perú SAC. Lima, Perú
- Aparcana, S. 2005: **“Aprovechamiento energético de los residuos de un matadero frigorífico industrial y la biomasa regional en Arequipa, Perú; bajo la aplicación de la gestión de flujos de materiales y energía”** Trier, Alemania, 2005.
- Biogás Handbuch **“Manual de Biogas”** Institut für Agrartechnik, Bornim e.V. Leipzig, Alemania, 2003
- Botero, R. y T. R. Preston, 1987. **“Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización”**. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia
- Buhigas, A. 2010: **“Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos”**. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior- Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Nicaragua, 2010.
- Cornejo Ramirez, E. 2012. **“Producción de Biogas a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (Torta de Piñón, Cascarilla de Arroz y Rumen de Gando Vacuno)”**. Universidad Nacional de San Martín E.E.A. EL PORVENIR - DISTRITO DE JUAN GUERRA". PERÚ
- Gomez, P. 2015, **“Producción Sostenible de Biogas a pequeña escala a partir de residuos de la agroindustria, para el autoabastecimiento energético”**. BIOGAS . 3. Programa de la Unión EuropeaWEBINAR. AINIA
- **“Guía sobre el Biogás. Desde la producción hasta el uso”**. 2010 Publicado por Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) con el apoyo del Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor en base a una decisión del Parlamento de la República Federal Alemana.
- Hilbert, J. **“Manual para la producción de biogás”**. Instituto de ingeniería Rural INTA - Castelar
- Hilbert, J.A.; 2003. **“Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural”**, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.

- Mandujano M. I., Félix A. y Martínez A. M., 1981 **“Biogás, Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos, Manual para el promotor de la tecnología”**. México
- **“Manual de Biogas”**. Mineregía /PNUD/FAO/GEF. Chile 2011. ISBN 978-95-306892-0
- McCaskey, A.T., 1990. **“Microbiological and chemical pollution potential of swine waste”**. Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol. CINVESTAV. Guadalajara, Jal.,México
- Meza, V. 2008. **“Diseño de BIOLES y APLICACIONES”**. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Agrarias INIA.2008
- Olaya, Y.; 2006. **“Diseño de un biodigestor de cúpula fija”**. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- Pedraza, G. et al 2002. **“Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino”**. Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali.
- Vargas, L.; 1992.” **Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios”**. Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Zuñiga, I. 2007: **“Biodigestores”** Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.México 2007.



Buenos Aires
Provincia