

# EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR DE SILOBOLSA

## Noticias y Comentarios

abril 2022

ISSN Nº 0327-3059

Nº 589

### Introducción

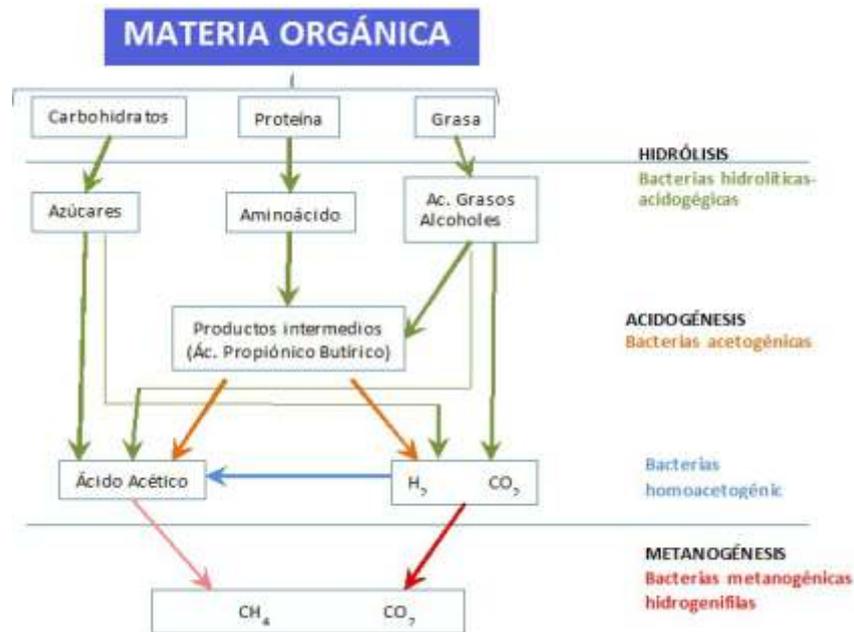
La digestión anaeróbica de productos orgánicos es un proceso natural conocido desde la antigüedad y lo realizan microorganismos en ausencia de oxígeno ( $O_2$ ). El año 1808, fue el punto de partida de la primera investigación, a cargo de Humphry Davy quien detectó gas metano en la descomposición del estiércol vacuno. A partir de allí, varios científicos reconocidos trabajaron en ésta temática. En Argentina, a fines de 1949, la Universidad Nacional de Córdoba realiza una serie de investigaciones a partir del fermento de estiércol vacuno y equino. El INTA, en la década de los 80 desarrolla líneas de investigación en el Instituto de Ingeniería Rural de Castelar, Bs As. (Hurga, I. R.; Butti, M.; Venturelli, L., 2014). En nuestra zona se conoce la tecnología, aunque se comenzó a trabajar a partir del año 2013 mediante el Proyecto Regional con Enfoque Territorial "Tierras coloradas y malezal", de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Mercedes.



Foto1. Biodigestor de silo bolsa.

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás por medio de desechos orgánicos, lo que permite obtener energía limpia, renovable y de bajo costo. (Rivas Solano, O; Faith Vargas, M; Guillén Watson, R., 2010).

Diversos materiales orgánicos pueden ser incorporados dentro de un biodigestor, residuos de la agroindustria, residuos sólidos urbanos (RSU) municipales, restos de cosechas, etc. Todos ellos se emplean para la generación alternativa de energía, cumpliéndose en tres fases diferenciadas como se puede observar en el gráfico N° 1.



**Gráfico 1.** Fases de la fermentación anaeróbica y población bacteriana. (Flotats, X.; Campos, E.; Bonmatí, A.; 1997).

Durante la bioconversión de materia orgánica a metano, las diferentes etapas tienen diferentes velocidades de reacción. La conversión de la celulosa ocurre en semanas; hemicelulosa y proteínas en días; y los azúcares, ácidos grasos y alcoholes en horas. Sin embargo, la lignina no es degradada en condiciones anaeróbicas. (Carrillo, L. 2004).

Mediante este proceso se obtiene dos productos, biogás compuesto en su mayor parte por gas metano (CH<sub>4</sub>) y biofertilizante (biol). El primero posee importantes propiedades (cuadro N° 1), utilizados para calentar hogares, invernáculos, parideras de animales de granja, etc. El biogás se constituye en energía alternativa reemplazando el uso de combustibles convencionales (leña, gasoil, nafta, entre otros). El segundo, biol, posee algunas ventajas en la aplicación como biofertilizante: (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015)

- Debido a su pH funciona como corrector de acidez.
- Al elevar el pH, dificulta el desarrollo de hongos patógenos.
- Posee partículas cargadas negativamente, favoreciendo la Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo (CIC).
- Mejora la estructura del suelo facilitando el desarrollo radicular y mejorando la reserva de agua.
- Favorece el desarrollo de los microorganismos en el suelo.
- Fácil aplicación, debido a su estado líquido.
- No posee mal olor.

**Cuadro 1.** Composición del biogás. (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015).

Componentes	Porcentaje
Metano (CH <sub>4</sub> )	55,0 a 70,0 %
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	27,0 a 45,0 %
Anhídrido sulfuroso (SH <sub>2</sub> )	Menor a 1,0 %
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0,50 a 3,0 %
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1,0 a 3,0 %

La producción de metano está relacionada con el volumen del digestor y la carga de materia orgánica utilizada en un período de tiempo. Además, dicho tiempo tiene dependencia de la temperatura que existe dentro del biodigestor. Es decir, el tiempo de duración de la digestión completa de la materia orgánica disminuye con el aumento de la temperatura. Para esto existe un rango de temperatura donde la fermentación anaeróbica funciona más eficientemente. En la siguiente tabla se puede observar el comportamiento del tiempo de duración de la degradación de un kilogramo de materia orgánica respecto a la temperatura empleada.

**Cuadro2.** Tiempo de digestión. (Groppelli, E; Giampaoli, O., 2015).

Temperatura (°C)	10	15	20	25	30	35
Tiempo de digestión recomendada (días)	90	60	45	32	30	25

### Objetivos

Explicar los procesos de diseño y construcción de un biodigestor rural hecho con silo bolsa.

Comparar los costos de construcción y mantenimiento de un biodigestor de silo bolsa para la producción de biogás en relación a los productos sustitutos existentes en el mercado.

### Materiales y Métodos

Los digestores de éste trabajo se comenzaron a construir en agosto del 2013 ubicados en la zona de influencia del PRET Tierra colorada y Malezal de la EEA Mercedes. Las experiencias partieron desde la construcción de biodigestores tubulares de flujo pistón con la utilización de silo bolsa de 5 pies (1,524 metros de diámetro).

En éste análisis, no se tendrán en cuenta la producción de biol como biofertilizante y enmiendas orgánicas como así también el beneficio que representa un biodigestor frente a la acumulación de residuos orgánicos generados a partir de producciones pecuarios e industriales. El análisis que se realiza en ésta instancia es solamente orientada hacia la construcción de un biodigestor rural de silo bolsa para la producción de biogás.

**Armado.** Los biodigestores tubulares construidos, tienen un volumen total de  $11 \text{ m}^3$ , que se realizan dentro de una fosa hecha en el suelo semejante a un trapecio invertido, cuyas medidas son de 1,2 m en la base inferior, 1,4 m en la base superior, 1,2 m de profundidad y 6 m de largo (figura 1 y 2) y la utilización de otros materiales (Anexo). El suelo servirá de contención del líquido contenido dentro del silo bolsa.

Se recomienda que la fosa se realice con pala en forma manual, por qué la utilización de maquinaria para ésta labor, puede provocar rotura de la estructura del suelo y posteriormente el desmoronamiento del mismo, perjudicando de ésta manera el buen funcionamiento del biodigestor.

Como consideraciones generales, armar un biodigestor tubular es muy sencillo. El principio básico de sistema es el ambiente anaeróbico (ausencia de oxígeno). En primer lugar, a la hora de armar el biodigestor, se deberá nivelar las boquillas de entrada y salida de efluente. Dichas entradas y salidas consisten en baldes de 20 litros sin fondo unidos entre sí, a los cuales se les hace pasar el silo bolsa por dentro y luego plegarlo hacia afuera atando mediante cámaras de vehículos evitando que se muevan. Ambas boquillas deberán quedar a 1 metro de altura del fondo de la fosa (Figura 3). Para éste procedimiento, necesitaremos contar con un nivel de manguera y mediante pala se acomoda las boquillas.

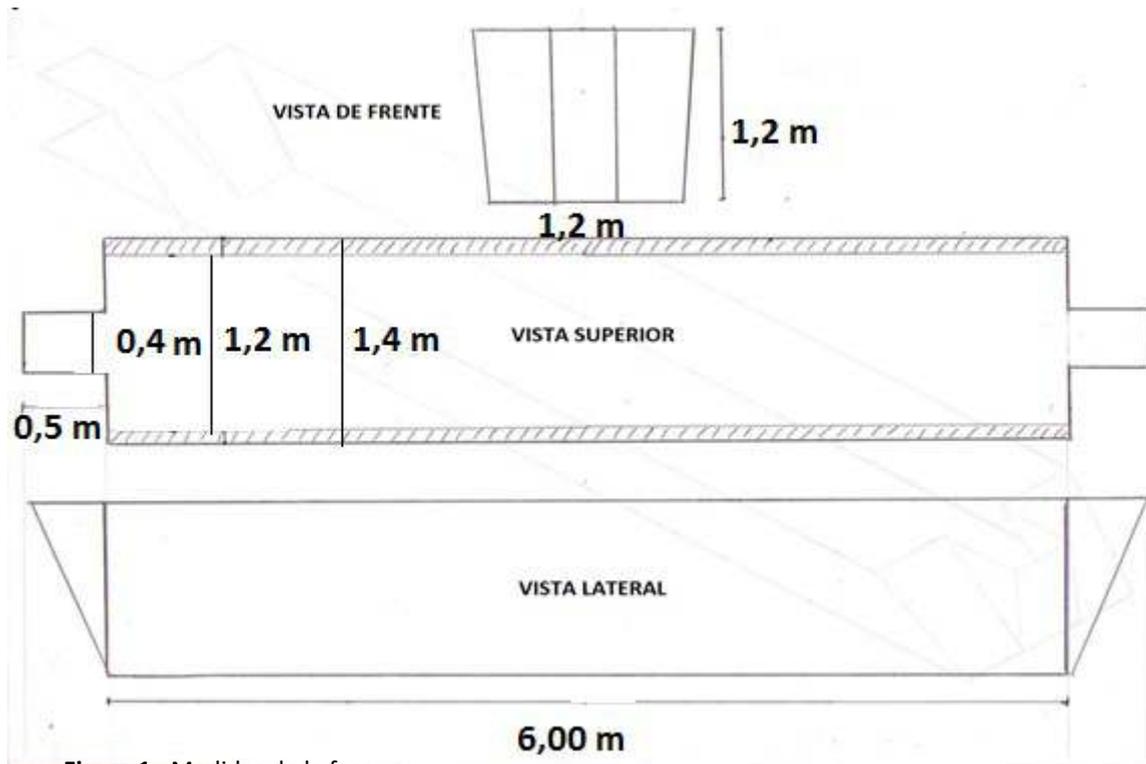


Figura 1. Medidas de la fosa

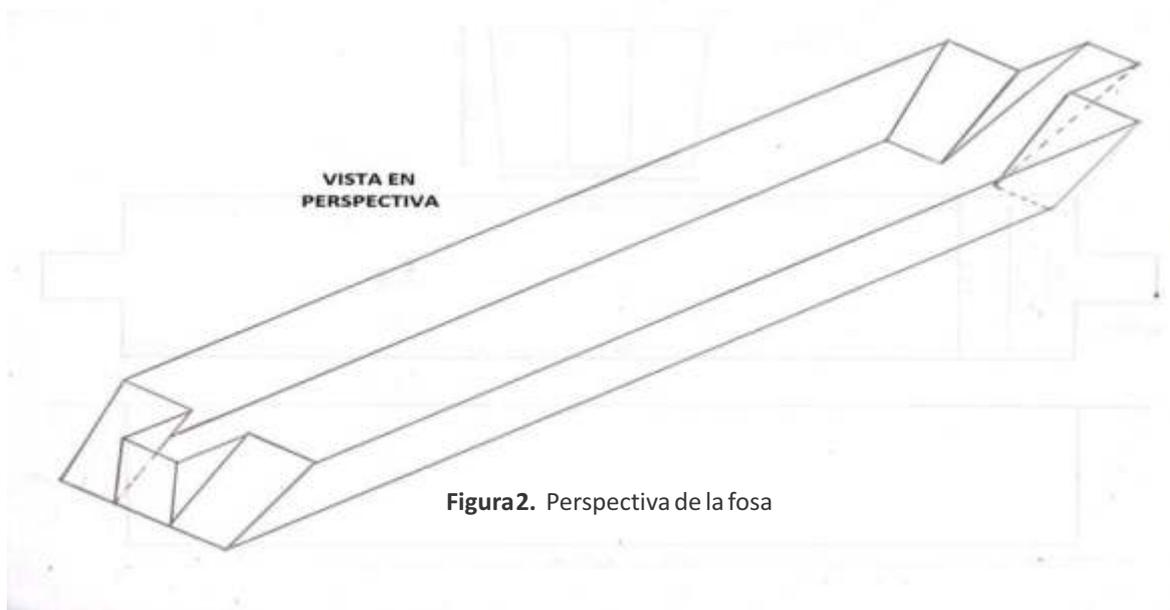


Figura2. Perspectiva de la fosa

Una vez nivelado las boquillas, en un lugar limpio donde no haya clavos, alambre, palos, vidrios, etc., se extiende el silo bolsa y se corta a los 10 metros. Luego se vuelve a extender nuevamente el rollo de silo bolsa para cortar otros 10 metros, el cual deberá pasar uno dentro del otro. Este proceso se recomienda hacerlo despacio, sin calzados y con mucho cuidado. Prestar atención que las costuras de ambos plásticos queden juntas, de ésta manera con la humedad y la temperatura, ambos se juntarán generando mayor resistencia.

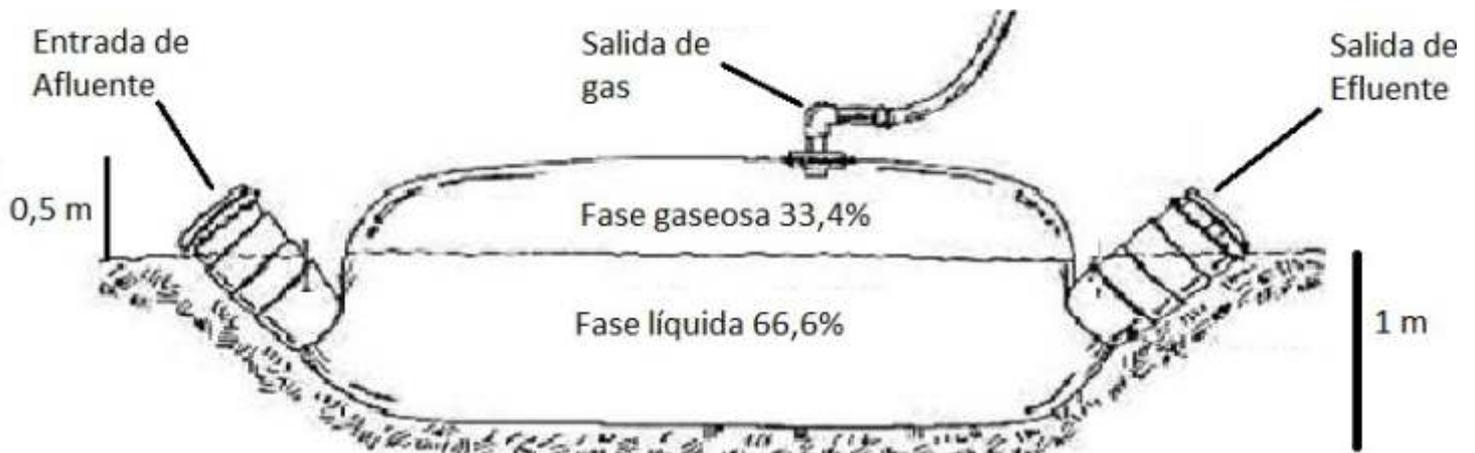


Figura 3. Biodigestor tubular de silo bolsa (EARTH, 2007)

Al momento de realizar la instalación de cañería para la salida del gas, el corte en el silo bolsa deberá ser realizado a los cuatro metros de un extremo, evitando dañar mucho al plástico. Realizar un orificio pequeño como para introducir a la brida (pasa tanque). Como arandelas, se pueden utilizar los fondos retirados de los baldes, colocando arandelas de goma entre medio evitando dañar al silo bolsa. El mecanismo de instalación es muy sencillo, se necesitarán nada más que llave pico de loro o regulables como para realizar una buena instalación. En la figura 4 se puede ver cómo realizar la conexión de salida del biogás. El niple de 15 cm, se coloca dentro de una botella plástica transparente con agua, la misma sirve como válvula de seguridad. Como todos los días se carga el digestor y se está produciendo gas, si en algún momento éste no se utiliza y aumenta la presión del digestor, dicho gas escapará por la válvula de seguridad generando burbujas en el agua.

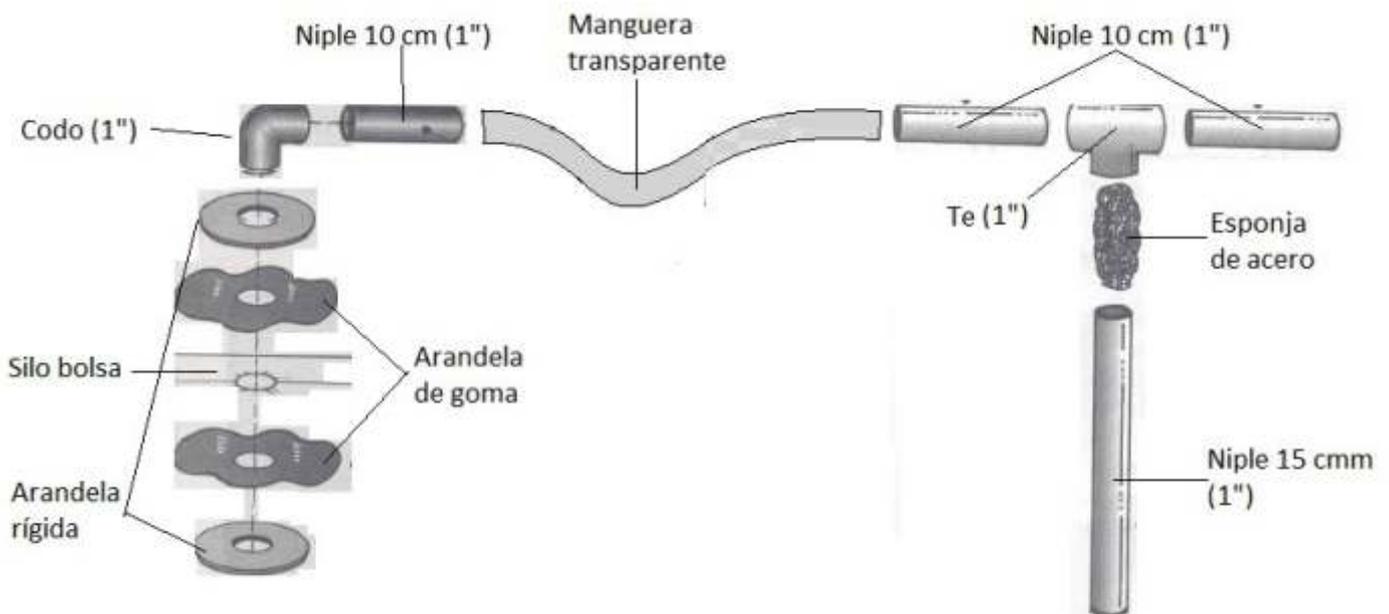


Figura 4. Instalación de caños para salida de gas. (EARTH, 2007)

Una vez instalado los caños, baldes, etc., se coloca el plástico dentro de la fosa y se comienza a inflar con la turbina. Luego se acomoda bien el silo bolsa inflado dentro del pozo, donde se debe ubicar la salida del biogás hacia arriba, se comienza a llenarlo con agua hasta que llegue al nivel de las boquillas (ver gráfico N°3), quedando al final bien delimitadas las dos fases dentro del biodigestor, fase líquida un 66,6% y fase gaseosa el 33,4% restante.

**Carga del biodigestor.** La materia orgánica utilizada para cargar dentro de un biodigestor, dependerá principalmente de dos parámetros. El contenido de sólidos totales (ST: es la cantidad de sólidos secos totales con respecto al peso de la muestra fresca, secada a estufa a 105°C, hasta peso constante) y el contenido de sólidos volátiles (SV: es la materia orgánica volatilizada con respecto al peso de sólido seco, calcinado a 550-600°C hasta peso constante.). Además, dicha materia prima debe contener entre el 7 y 9% de ST diario, para poder obtener mejores resultados en la digestión anaeróbica. (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015).

Otro punto a tener en cuenta es la velocidad de carga (VC: Cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen del digestor por día (Kg SV/m<sup>3</sup> digestor\*día). (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015).) que estará en función del tipo de digestor y su agitación. En los digestores rurales, la carga estará a razón de 0,2-0,5 kg SVT/m<sup>3</sup> <sub>biodigestor</sub> \*día en digestores que poseen un volumen medio de 10 m<sup>3</sup>. Para incrementar el volumen de materia orgánica en un biodigestor, se debe incorporar tecnología como por ejemplo un proceso de agitación. (Carrilo, L. 2004).

La temperatura ambiente y del interior del biodigestor es uno de los parámetros más importante, ya que determina el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH: Cantidad de tiempo en días que permanece la materia orgánica dentro del digestor. (Gil Espinosa, E. C.; Hilbert, J. A.; Bogliani, M. P., 1983)

Como la temperatura media anual en Gdor. Virasoro son de 20,7°C (IAVNC. 2015), el TRH es de 45 a 60 días (cuadro 2).

Los biodigestores tubulares que se instalaron, con la utilización de silo bolsa de 5 pies, sin agitación en su interior; con una carga diaria de 36.6 kg de estiércol vacuno, considerando los valores del estiércol que están en el cuadro siguiente.

A pesar, que el estiércol vacuno posee un 18% de ST, se diluye agregándole agua para que la mezcla estuviera lo más cerca posible del 9% de ST que es el porcentaje apropiado.

**Cuadro3.** Desechos orgánicos aprovechables. (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015)

Tipo de residuo	Producción de biogás (lts biogás/kg sólido fresco)	Contenido de sólido (% ST)	Contenido de materia orgánica volátil (% SV)
Estiércol Vacuno	15-40	18,00	83,00
Estiércol porcino	50-70	18,00	80,00
Estiércol aviar parrillero	30-50	53,00	66,00
Estiércol aviar ponedoras	35-55	35,00	90,00
Desechos de la huerta	39-63	11,00	94,00
Residuos amiláceos o azucarados (papas, mandioca, remolacha)	100	18,00	94,00
Residuos de comidas	75-120	19,60	90,60
Sorgo granífero	550	96,00	98,00

De esta manera, la solución que se prepara para incorporar dentro del digestor está compuesta por **40 litros de estiércol vacuno diluido en 60 litros de agua.** (figura 6). La solución queda en una mezcla de 100 litros, fácil de preparar mediante tres baldes de 20 l de estiércol vacuno y dos baldes de 20 l de agua. Es decir, cada día se debe incorporar al digestor dicha proporción.

**Biogás.** Por cada kg de estiércol fresco de estiércol vacuno, se produce entre 15 y 40 litros de biogás (cuadro 3). Su poder calorífico es de 5.500 Kcal/m<sup>3</sup>. A continuación, en el cuadro 4 se realiza una equivalencia con otras fuentes de energías utilizadas en la zona rural.



Figura 5. Solución ingresada al biodigestor.

Cuadro 4. Equivalencia del biogás con otras fuentes de energía. (Groppelli, E; Giampaoli, O. , 2015)

Combustible	Poder calorífico	Unidad	Equivalencia con biogás (m <sup>3</sup> )
Gas envasado grado 1	12.013	Kcal/kg	2,18
Gas envasado grado 2	11.878	Kcal/kg	2,16
Leña blanda	1.840	Kcal/kg	0,33
Leña dura	2.300	Kcal/kg	0,42
Nafta	8.232	Kcal/lt	1,50
Gas-Oil	9.211	Kcal/lt	1,67

## Resultados y Discusión

A la actualidad, se han construido 11 biodigestores de éste estilo en lo que transcurrió el proyecto regional “Tierra Coloradas y Malezal”. El valor actual de su construcción fue de \$20.527,93. Contemplando una durabilidad de 2 años del silo bolsa y que de un rollo de 60 metros para construir un biodigestor se utiliza solamente 1/3 parte del mismo; se considera de ésta manera que el biodigestor posee la misma duración que el silo bolsa, entonces el costo anual del biodigestor se determinó en \$ \$10.263,97. Cargar de efluente al digestor, demandó aproximadamente 15 minutos todos los días entre juntar el estiércol, mezclarlo con agua e incorporarlo al biodigestor. Determinándose de ésta manera un costo anual de \$35.831,62.

La producción anual de biogás, fue de aproximadamente 438 m<sup>3</sup>, el cual según su equivalencia remplazar a 20 garrafas domésticas de 10 kg. El valor de la garrafa doméstica en la cooperativa de Servicios Públicos de Gdor. Virasoro (lugar más económico en la localidad) es de \$540 (ciento sesenta pesos); en otros lugares como almacenes de barrio rondan los \$650 la garrafa. Desde el Programa Hogar (ANSES, 2022), el precio de la garrafa de 10 kg cuesta al público \$414. Es decir, el productor anualmente economiza alrededor de \$8.280 considerando el valor de la garrafa según ANSES.

Si analizamos la producción de biogás anual a través de su equivalencia a la nafta súper, el productor se ahorra de comprar 292 litros de nafta, a un valor de \$121 por litro (YPF abril 2022), sería un total anual de \$35.332.

Cabe aclarar, que varios de los insumos contemplados en el anexo se consiguen sin la necesidad de realizar una compra, sin embargo, hemos puesto su valor de mercado para realizar un mejor análisis económico.

### Conclusiones

La utilización de ésta tecnología por parte de los productores, permitió que varios de ellos pudieran aprovechar al biogás como fuente de energía reemplazando o complementando las fuentes habituales de energía como garrafas de gas o de leña.

Para finalizar, los biodigestores de silo bolsa, al ser muy económicos en su construcción permiten que los productores puedan tomar la decisión de no continuar debido a que no es lo que pensaban, no solucionan sus problemas, etc; y no pierden tanto dinero; o caso contrario apuestan a continuar e implementar saltos tecnológicos como por ejemplo la utilización de geomembrana en los biodigestores y mejorar el aprovechamiento del biogás y del biol. Decisiones que se pueden tomar fácilmente con éste tipo de dispositivo.

Ing. Agr. **Gonzalo Dos Santos**

[dossantos.gonzalo@inta.gob.ar](mailto:dossantos.gonzalo@inta.gob.ar)

Ing. Agr. Pablo Uguet Piloni

### Bibliografía

Andrade, F. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina*. Ciudad Autónoma Buenos Aires: INTA.

Carrilo, L. (2004). *Energía de biomasa*. S. S. Jujuy: El autor.

CEDECAP. (2007). *Biodigestores de Polietileno: Construcción & Diseño*. Bolivia.

Flotats, X.; Campos, E.; Bonmatí, A.;. (1997). *Aprovechamiento energético de residuos ganaderos*. Lleida: Universidad de Lleida.

Gil Espinosa, E. C.; Hilbert, J. A.; Bogliani, M. P. (1983). *Biogás: energía y biofertilizante*. Castelar: INTA.

Groppelli, E; Giampaoli, O. . (2015). *Biodigestores: una propuesta sustentable*. Santa Fe: UNL.

Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: GTZ-Energía.

Huerga, I. R.; Butti, M.; Venturelli, L. (2014). *Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad*. Santa Fe: INTA.

Ministerio de Energía y Minería. (Octubre de 2016). Obtenido de <https://www.programahogar.gob.ar/>

Poggio, D; Ferrer, I; Batet, L y Velo, E. (2009). *Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos*. Peru.

Rivas Solano, O; Faith Vargas, M; Guillén Watson, R. (2010). *Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad*. Costa Rica: Tecnología en Marcha

Anexos

**Cuadro 5.** Costo de materiales necesarios para la instalación de un digestor. Marzo 2022.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	
Foza (1,4m x1,2m x 1,2m x 6m)	Jornal	3	\$ 2.272,68	\$ 6.818,04	33,21%
Silobolsa de 5 pies	m	20	\$ 375,00	\$ 7.500,00	36,54%
Baldes de 20 litros	u	8	\$ 74,00	\$ 592,00	2,88%
Bolsas de alimentos	u	10	\$ 5,00	\$ 50,00	0,24%
Cámara vieja	u	1	\$ 15,00	\$ 15,00	0,07%
Brida de 1''	u	1	\$ 470,15	\$ 470,15	2,29%
Codo de 1''	u	1	\$ 196,26	\$ 196,26	0,96%
Te de 1''	u	1	\$ 272,94	\$ 272,94	1,33%
Niple de 1''x 10 cm	u	4	\$ 165,15	\$ 660,60	3,22%
Niple de 1'' de 15 cm	u	1	\$ 178,26	\$ 178,26	0,87%
Manguera Transparente	m	2	\$ 95,00	\$ 190,00	0,93%
Precintos	u	10	\$ 0,80	\$ 8,00	0,04%
Sellarosca	u	1	\$ 76,00	\$ 76,00	0,37%
Llave de paso de 1''	u	1	\$ 739,34	\$ 739,34	3,60%
Estribo red. De 1'' a 1/2''	u	1	\$ 25,00	\$ 25,00	0,12%
Motor turbina	u	1	\$ 450,00	\$ 450,00	2,19%
Construcción	jornal	0,5	\$ 2.272,68	\$ 1.136,34	5,54%
Tambor mezclador 200 lts	u	1	\$ 400,00	\$ 400,00	1,95%
Caño de 50 mm x 1,2 m	u	1	\$ 750,00	\$ 750,00	3,65%
<b>Costo instalación</b>				<b>\$ 20.527,93</b>	<b>100,00%</b>
Amortización (años)			2	\$ 10.263,97	28,64%
Carga de afluente	Jornal/año	11,25	\$ 2.272,68	\$ 25.567,65	71,36%
<b>Costo anual</b>				<b>\$ 35.831,62</b>	<b>100,00%</b>

Precio del jornal: [Resolución 139/21 la Comisión Nacional de Trabajo Agrario \(CNTA\)](#)

Precio del silo bolsa: Precio promedio del mercado zonal

Valores reales que deberían incurrir para la construcción del biodigestor. (En resaltado amarillo)