

DISEÑO, VERIFICACION Y EVALUACION DE UN GENERADOR DE BIOGAS DOMICILIARIO

Jorge Alberto Orellana, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario,
jorellana@frro.utn.edu.ar

Antonio Muñios, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario,
amuinios@yahoo.com.ar

Susana Piscione, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario,
susypiscione@yahoo.com.ar

Resumen

Los residuos sólidos domiciliarios poseen un potencial energético recuperable mediante el uso de generadores de biogás.

La biodigestión anaeróbica producida por las bacterias presentes en los desechos, es un proceso sencillo, efectivo y controlable para el tratamiento de los residuos sólidos domiciliario produciendo fundamentalmente dos productos: biogás y fertilizantes orgánicos.

El proyecto de investigación tiene como objetivo, el diseño, verificación del funcionamiento y evaluación del modelo de biodigestor, en cuanto a la producción de biogás y fertilizantes.

Las características del biodigestor a diseñar deben contemplar su operación sencilla, mantenimiento reducido, económicamente viable y con medidas de seguridad adecuadas. Además, se diseñará la conexión entre el biodigestor y el sistema de almacenamiento de biogás antes de su distribución, contando esta conexión con mediciones de presión para la seguridad contra accidentes.

La verificación y funcionamiento del biodigestor se realizará a través de la composición de los residuos domiciliarios, midiendo el grado de eficiencia de las mismas.

Asimismo, se redactará un manual del usuario, incluyendo todas las operaciones de funcionamiento y mantenimiento adecuados, que permita al usuario obtener del biodigestor su máximo rendimiento, durante su vida útil.

El uso de un biodigestor contribuye a una mayor sustentabilidad, debido a el aprovechamiento energético de los residuos sólidos y transformándolos en un material utilizable.

Palabras clave— *biogás, energía, biodigestor.*

1. Introducción

El proyecto de investigación denominado DISEÑO, VERIFICACION Y EVALUACION DE UN GENERADOR DE BIOGAS DOMICILIARIO, ha sido propuesto por el Grupo de Investigación y Desarrollo denominado *Ingeniería Civil y Medio Ambiente (ICMA)* de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Departamento de Ingeniería Civil.

El presente proyecto está fundado en las actividades del mencionado grupo de investigación que ha acumulado experiencia en el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU), en eficiencia energética y construcción sustentable.

Dicha experiencia ha motivado la necesidad de la valorización de los RSU, fundamentalmente domiciliarios como fuente de reciclado para disminuir el envío de los mismos a los rellenos sanitarios. Conjuntamente con las experiencias en eficiencia energética y construcción sustentable, se hizo lógico el pensar a los RSU como fuente de energía renovable, transformando los mismos mediante un reactor biológico en gases que puede ser utilizados como fuente calórica, ya sea para la cocción de alimentos y calefacción, como también para alimentar generadores de energía eléctrica cuyo combustible sea el gas, en este caso el biogás.

El residuo del generador de biogás es un fertilizante natural, pero que debe ser utilizado con la debida precaución que indicaremos mas adelante.

Planteado el problema se procedió a recolectar el conocimiento existente para la generación de biogás, encontrando una gran cantidad de proyectos, teorías y conclusiones sobre los reactores de generación de biogás.

Existen muchas versiones de los reactores de biogás, algunos de gran porte y otros domiciliarios, pero en estos últimos no hemos encontrado versiones sencillas, y en general son bastante precarios y sin mucha seguridad. También se ha encontrado algunos modelos comerciales, en general de tamaño medio.

Una vez analizada dicha información se trabajó en los objetivos que se desean obtener para este proyecto de investigación

2. Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Diseñar un generador de biogás compacto, y de ser posible trasladable, y de sencilla operación.
- Verificar el funcionamiento del generador en cuanto a volúmenes de biogás generados a partir de los RSU domiciliarios.
- Verificar la calidad del biogás generado como fuente calórica disponible
- Colaborar con la reducción de los RSU que se envían a rellenos sanitarios
- Utilización del residuo del generador de biogás como un fertilizante natural.

3. Metodología

Con el fin de poder realizar los objetivos del proyecto de investigación citados en el punto anterior describiremos los pasos a seguir para la obtención de los mismos.

3.1 Diseño

El primer problema con el que nos hemos encontrado al recabar la información existente sobre diseños de generadores de biogás, existen dos modelos básicos que integran los elementos mínimos que debe contener tal cual se aprecia en la Figura 1. [1]

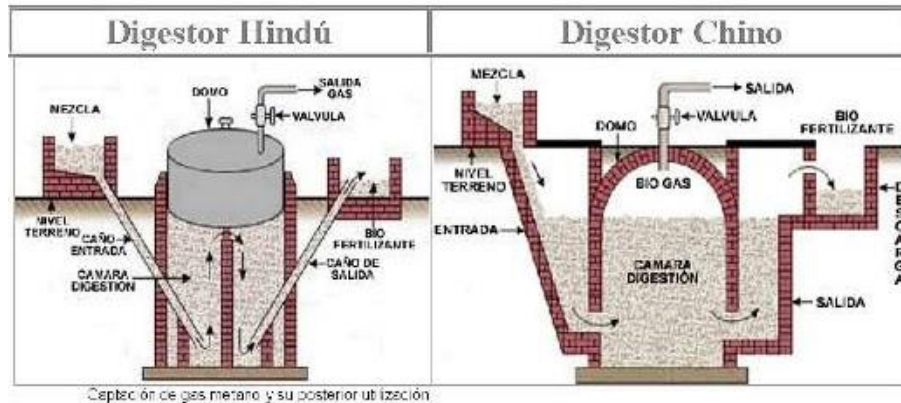


Figura 1: Diseños básicos de biodigestores – Fuente: <https://civilgeeks.com>

El modelo de la izquierda tiene una cúpula móvil o flotante y el de la derecha una cúpula fija. Por motivos de simplicidad de diseño y de fabricación hemos optado por el modelo de cúpula fija.

A tal efecto se realizó un esquema completo de generador de biogás que pretende el proyecto de investigación tal cual se aprecia en la Figura 2.

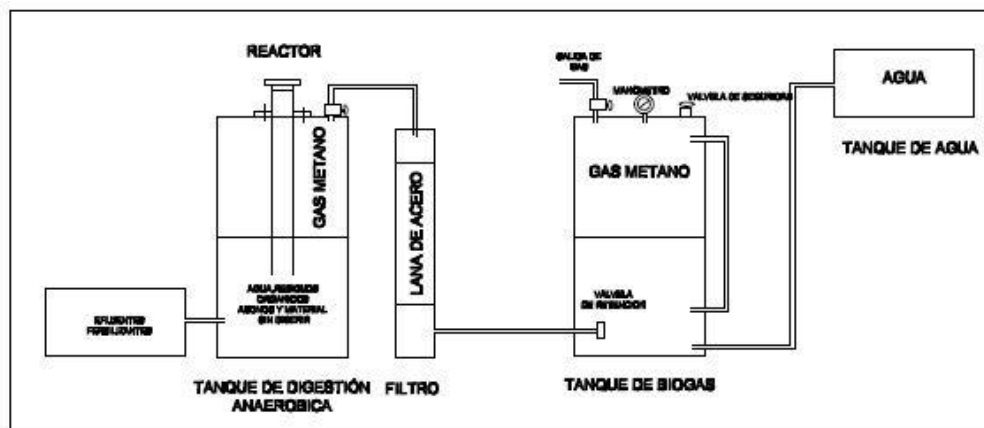


Figura 2: Diseño general del reactor propuesto – Fuente: desarrollo propio

En la primera etapa del proyecto estaremos verificando el funcionamiento específico del biogenerador en cuanto a la producción de biogás, por lo que lo primero que se construirá será el Tanque de Digestión Anaeróbica solamente.

Una vez verificada la producción y sus correspondientes volúmenes, se procederá con el resto del diseño, es decir el Filtro, Tanque de Biogás, Tanque de Agua y conexión a artefactos que consuman Biogás.

El bioreactor o biogenerador lo construimos mediante el uso de un envase de chapa de 200 litros de capacidad total, generalmente denominado tambor de 200 litros. Dicho envase es hermético por haber sido usado para el transporte de sustancias líquidas y cuenta con dos accesos en la parte superior con tapas roscadas.

Debido a que se deben extraer los lodos se practicará una nueva abertura en la parte inferior por donde se extraerán los lodos efluentes del bioreactor.

En la Figura 3 se muestra un detalle de su construcción.

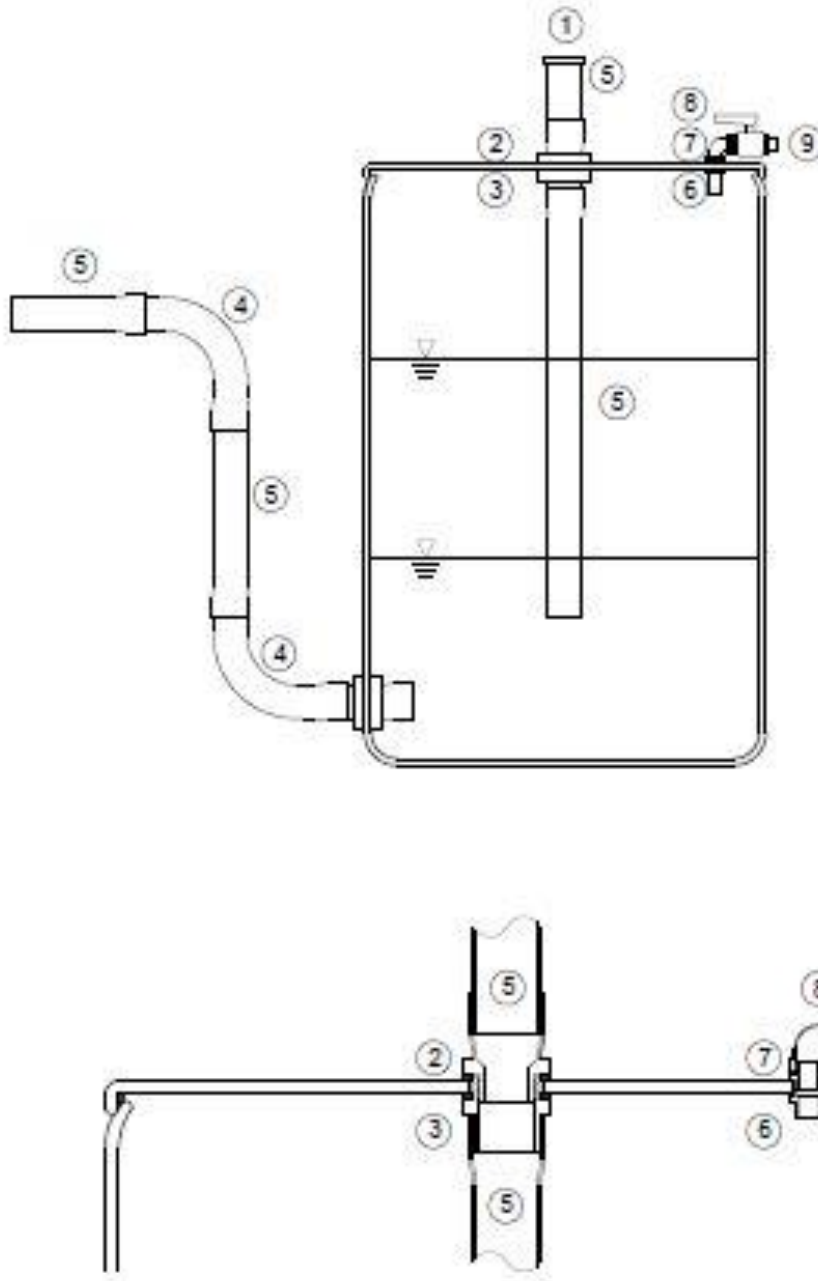


Figura 3: Partes integrantes del Biogenerador. En la parte superior se aprecia un esquema general, mientras que en la parte inferior un detalle del ingreso de material al mismo como así también de la salida de gases

En la Tabla 1 se muestra el despiece de los elementos necesarios para la construcción del biogenerador, para esta primera etapa.

Tabla 1: Despiece de la primera etapa del Bioreactor

Num	Denominacion	Material	Diametro [pulgadas]	cantidad
1	Tapon	PVC	2	1
2	Union: Rosca macho - Embudo	PVC	2	2
3	Union: Rosca hembra - Espiga	PVC	2	2
4	Curva a 90	PVC	2	2
5	Caño	PVC	2	4 mts
6	Union : Rosca macho - Espiga	polipropileno	1/2	1
7	Union : rosca macho - rosca macho	polipropileno	1/2	1
8	Codo a 90 para roscar	polipropileno	1/2	1
9	Valvula esferica para roscar	polipropileno	1/2	1
10	Adhesivo PVC			250 cm3
11	Sella rosca p/ polipropileno			125 cc
12	Sellador de silicona en cartuchos			1 unidad

Una vez construido, se dejó secar todos los puntos sellados para verificar que el mismo no tenga pérdidas de ninguna naturaleza.

Para verificar esa situación se lo lleno de agua para hacer una prueba hidráulica que nos sirvió para verificar la estanqueidad del bioreactor construido

3.2 Puesta en marcha

Una vez construido el generador de biogás, se procederá a poner en marcha el mismo, es decir proceder a la carga del biogenerador, con RSU domiciliarios obtenidos dentro del mismo laboratorio y también proporcionados por los integrantes del proyecto con los RSU generados en sus domicilios.

La bibliografía encontrada propone la primera carga con estiércol vacuno o de cerdo tal cual lo indica el trabajo de INTA [2], que resulta casi imposible en nuestro caso, debido a que el objetivo son los domicilios que en su gran mayoría no poseen acceso al estiércol de ningún tipo.

Es por eso que se realizará la carga con RSU, trozado de manera que pueda ingresar por la tubería de 2" de diámetro. Estamos conscientes que no es la manera clásica de puesta en marcha pero nuestro objetivo es generar biogás a partir de RSU, por lo tanto lo haremos con dicho insumo.

Sin embargo lo iniciaremos fundamentalmente con RSU que contengan material biodegradable de origen vegetal, tales como restos de verduras frescas, frutos, yerba mate, café utilizado, etc. no incorporando en esta primera etapa ni cascaras de huevo, restos de comida cocinada, carnes de ningún tipo, etc.

Posteriormente se incluirán dichos RSU, con el fin de verificar su influencia en la eficacia del biogenerador.

Se llenará el biogenerador hasta $\frac{1}{4}$ de su volumen con la mezcla de RSU (procesados como se indicó) con agua potable.

A partir de este momento se comenzará con el testeo del biogenerador con el fin de registrar tiempos de generación de biogás, tomando como parámetros los volúmenes de RSU y agua incorporados y tomando registro de la temperatura ambiente en donde este situado el biogenerador.

3.3 Verificación del funcionamiento

A partir de la carga del bioreactor se procederá a verificar el funcionamiento del mismo como se indica a continuación.

Se procederá al registro de los volúmenes de carga del reactor teniendo en cuenta volumen de RSU y de agua incorporada y la temperatura inicial, además de otros datos que se detallan más abajo, tal como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Registro de la actividad del reactor de biogás

Fecha	Volumen				Temperatura		Prod. Gas	Detalle RSU	
	Inicial	Carga		Final	Fango	Ambiente			Interior
		RSU	Agua						

Detalle de datos de la tabla:

- **Fecha:** la fecha de inicio del experimento y de las sucesivas cargas de RSU o de retirada del fango resultante.
- **Volumen inicial:** es el volumen existente dentro del reactor de biogás antes de la carga o retiro de fango.
- **Volumen carga RSU:** cantidad de RSU en volumen que se introducen al reactor.
- **Volumen carga agua:** volumen de agua potable o recogida de lluvia que se introducen en el reactor al mismo tiempo que los RSU.
- **Volumen final:** es el volumen resultante en el reactor luego de la carga de RSU y agua o del retiro de fango.
- **Temperatura ambiente:** se medirá la temperatura ambiente durante todo el proceso, es decir no solamente cuando se opera la carga o descarga del reactor.
- **Temperatura interior:** se medirá la temperatura interior del reactor, fundamentalmente dentro del biocultivo durante todo el proceso, es decir no solamente cuando se opera la carga o descarga del reactor.
- **Producción de biogás:** se medirá la producción de biogás en volumen.
- **Detalle de RSU:** se describirá la composición del RSU introducido al reactor, detallando de ser posible los materiales que lo componen y sus volúmenes aparentes.

Los datos obtenidos de las mediciones sobre el reactor se cargarán en la tabla mencionada y sus datos se cargarán en una planilla Excel con el fin de poder obtener los gráficos y curvas correspondientes a los volúmenes, temperaturas y producción de gas.

El detalle de la composición de los RSU introducidos en el reactor se contrastará con los volúmenes de gas obtenidos y de fangos evacuados.

La bibliografía consultada [3] indica los siguientes parámetros para ser tenidos en cuenta para la mejor eficacia del bioreactor son:

- Rango de temperatura interna de funcionamiento:
 - Baja actividad con temperaturas menores a 15 °C
 - Rango ideal 30 a 60 °C
- Tiempo de retención hidráulica
 - Entre 10 a 40 días
- Tamaño de las partículas:
 - Menores o iguales a 5 cm.

Los resultados obtenidos de las mediciones los contrastaremos con estos parámetros ideales para observar los desvíos del proyecto y su incidencia en la eficiencia del bioreactor.

3.4 Verificación de volúmenes y calidad del biogás generado

Una vez verificada la generación de biogás, a través de una válvula de seguridad construida a continuación de la salida de gas del bioreactor, se procederá a medir volúmenes de gas generado teniendo en cuenta que la medición se realizará a temperatura ambiente y a la presión atmosférica existente en el momento de la medición.

Esta etapa de medición de gases se prolongará en el tiempo por lo menos 6 a 8 meses con el fin de monitorearla con las temperaturas ambiente y del reactor, como así también por la composición de los RSU introducidos.

En esta etapa también deberemos medir el poder calorífico del gas generado para poder compararlo con la composición de los RSU con que cargamos el bioreactor

Debido a que la composición de los RSU es muy variable, no solo por su volumen, sino también dependiendo de las épocas del año y los alimentos que pueden consumirse nos referiremos a la siguiente información para tener valores de referencia con que comparar los resultados.

Teniendo en cuenta que la producción de biogás está íntimamente relacionada con los sólidos volátiles del material con que se lo alimenta, la ECOLE POLITECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE (2016) [4], publica la siguiente tabla indicativa del *total de sólidos*, medidos en porcentaje del volumen, que incluye los distintos tipos de RSU y también los *sólidos volátiles* medidos en porcentaje del *total de sólidos*. Estos datos están indicados en la Tabla 3.

Así mismo tomando en cuenta la bibliografía citada, indicamos en la Tabla 4 el potencial de generación de gas metano medido a partir de la cantidad de *sólidos volátiles* contenidos en el material introducido en el bioreactor.

Tabla 3: Porcentaje de solidos totales y sólidos volátiles de los RSU

Substrate	TS (% of raw waste)	VS (% of TS)
Spent fruits	25–45	90–95
Vegetable wastes	5–20	76–90
Market wastes	8–20	75–90
Leftovers (canteen)	9–37	75–98
Overstored food	14–18	81–97
Fruit wastes	15–20	75–85
Biowaste	25–40	50–70
Kitchen waste	9–37	50–70
Market waste	28–45	50–80

Tabla 4: Potencial de generación de metano de los distintos RSU

Substrate	Methane Yield (L/kg VS)
Palm oil mill waste	610
Municipal solid waste	360–530
Fruit and vegetable wastes	420
Food waste	396
Rice straw	350
Household waste	350
Swine manure	337
Maize silage and straw	312
Food waste leachate	294
Lignin-rich organic waste	200

3.5 Tratamiento y utilización del biogás generado

Teniendo en cuenta que los gases generados por el bioreactor son una mezcla de distintos gases en proporciones variables, en las el metano es el más importante, pero existe también un gas denominado sulfuro de hidrógeno, que en contacto con la humedad produce ácido sulfhídrico, por no se pueden utilizar directamente como es emitido por el bioreactor, sino que debe ser purificado.

Existen varios métodos, desde los más simples a los más complicados, pero debido a que nuestro proyecto intentan que el bioreactor sea lo más sencillo posible hemos descartados los métodos complejos y utilizando lana de acero o viruta de acero para construir un filtro del sulfuro de hidrógeno. El mismo es construido a la salida del bioreactor, lo más cerca posible y es sencillamente un sector de cañería que ampliamos el diámetro e introducimos allí un cartucho que en su interior posee lana de acero o viruta de acero, ambos componentes son fáciles de conseguir y son elementos utilizados como utensilios de limpieza en los hogares.

Luego de que el biogás circula por dicho filtro, se puede enviar a su consumo.

3.6 Tratamiento y utilización del lodo efluente del bioreactor

Todo proceso biológico genera residuos al final del tratamiento, en nuestro caso dentro del bioreactor que produce biogás.

El bioreactor produce un efluente líquido, que denominaremos lodo del reactor que consiste en una mezcla de biomasa con gran contenido de agua.

Debemos recordar que también incluye una gran cantidad de bacterias dentro de su composición.

Ese lodo tiene una consistencia muy fluida, y la biomasa que fluye en él son las partes que no pueden generar más biogás, es decir son la parte no volátil de los *sólidos totales* que hemos mencionado más arriba.

Este lodo tiene una gran cantidad de materia orgánica en suspensión, que puede resultar un buen mejorador de las capacidades fértiles de los suelos orgánicos degradados.

El lodo se puede utilizar como mejorador de suelos degradados de tres formas fundamentales:

- **Forma líquida:** se utiliza tal como sale del bioreactor, y puede ser distribuido como riego directo sobre el suelo, tratando de que el mismo no forme lagunas o charcos que después perjudiquen el crecimiento de los vegetales, en otras palabras su distribución debe hacerse acorde el suelo lo va infiltrando en su masa.
- **Forma húmeda:** se debe proceder a la deshidratación o secado parcial antes de ser aplicado. La deshidratación puede hacerse extendiendo el lodo en recipientes o sectores con un espesor menor a 5 cm y dejar que la acción de sol y el viento lo deseque hasta tener la consistencia de una tierra húmeda. Existe por supuesto el inconveniente de las posibles lluvias, por lo que es mejor realizarlo en lugares que puedan ser cubiertos por un plástico, que deje circular el aire y deje pasar la radiación solar. Otra alternativa es depositarlo sobre un manto de arena o grava de pequeño tamaño para que el agua se filtre por gravedad. En este caso debemos recordar que el agua contenida en el lodo tiene una gran cantidad de materia orgánica disuelta por lo que debe cuidarse no contaminar la capa freática local. Es por eso que dichos filtros debería poder recoger el agua filtrada y conducirla hacia algún repositorio. Dicha agua puede ser utilizada como fertilizante líquido..
- **Forma seca:** la única diferencia con el tratamiento anterior es que el lodo se deja secar completamente y luego se dispone como mejorador de suelos como un polvo que se dispersa sobre el terreno. Si deseamos que penetre en el mismo, debemos regarlo o esperar a alguna lluvia cumpla dicha función. En forma seca también puede utilizarse para rellenar hondonadas en el terreno

Debe tenerse en cuenta la presencia de bacterias dentro de la masa del lodo por lo que se recomienda ser precavidos en el uso de dicho lodo como mejorador de suelos degradados, por lo que el mismo no debe ser utilizado en lugares donde se siembren verduras que puedan ser consumidas sin cocción.

4. Conclusiones y recomendaciones

Como hemos indicado en los objetivos del proyecto deseamos conseguir un diseño de biogenerador de biogás lo más sencillo y práctico posible.

Sencillo en cuanto al diseño para que su costo sea razonable y esté al alcance de la mayor cantidad de familias.

Práctico en cuanto a su funcionamiento y utilización. Es decir, tratar que su uso no complique la vida diaria de sus usuarios, pues de ser así, podría no tener la inserción que pretendemos dentro de la sociedad actual.

Poder tener un tratamiento de los RSU dentro de los domicilios, que permita reducir significativamente los volúmenes que se deben recoger y enviar a las plantas de tratamiento y rellenos sanitarios, con la consiguiente contaminación y uso de recursos no renovables implicados.

Poder generar con su efluente un mejorador de suelos degradados totalmente biodegradable.

Poder tener acceso a una fuente de combustible menos contaminante ya sea para calefacción, cocción de alimentos o generación de energía eléctrica.

Es nuestra intención poder interesar a distintos organismos gubernamentales, ONG's y fundaciones que puedan financiar la construcción de estos biogeneradores para poder incluirlos en las instalaciones escolares por ejemplo, en los sitios donde la provisión de energías pueda ser inviable ya sea técnica o materialmente.

5. Referencias

- [1] <https://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>
- [2] HUERGA, I.R.; BUTTI, M; VENTURELLI, L (2014) Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad. EEA Oliveros- Instituto de Ingeniería Rural – INTA. Pág. 44-45
- [3] ECOLE POLITECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE, EAWAG acuatic research, Massive Open Online Course “Municipal Solid Waste Management in Developing Countries” offered by Sandec/Eawag. (2016)
- [4] ECOLE POLITECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE, EAWAG acuatic research, Massive Open Online Course “Municipal Solid Waste Management in Developing Countries” offered by Sandec/Eawag. (2016)