

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

FACTIBILIDAD DEL USO DE *BIOGÁS* COMO COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA LADRILLERA DEL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS, MÉXICO.

*Cesar Gómez¹
Neín Farrera¹
Joel Moreira²

*FEASIBILITY OF USING BIOGÁS AS A FUEL, IN THE BRICK
INDUSTRY IN THE MUNICIPALITY OF CHIAPA DE CORZO,
CHIAPAS, MEXICO.*

Recibido el 27 de noviembre de 2013; Aceptado el 28 de febrero de 2014

Abstract

This article reports the feasibility study results to contribute to the sustainable development of Chiapa de Corzo, Chiapas, Mexico, by means of the introduction of a *biogás* system produced in anaerobic digesters fed by cattle excreta so that such *biogás* can be used as fuel at the brick industry in Chiapa de Corzo. Data concerning the fuel used and the number of people involved were recorded, as well as the amount of analyzed kiln carbon dioxide (CO₂) emitted. Additionally, an anaerobic digester installed at a nearby ranch was assessed to determine potential *biogás* production. Furthermore, a purification and compression prototype designed at Universidad del Valle de México, Tuxtla campus was subject to test in order to determine the potential *biogás* use when stored and shipped.

Key Words: *Biogás*, Brick Industry, Compression of *Biogás*, *Biogás* Purification.

¹ División de Ingenierías, Universidad del Valle de México campus Tuxtla, México

² Centro de Investigación en Energías Renovables, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México

**Autor correspondiente:* Universidad del Valle de México campus Tuxtla. Ed.G. Coordinación de Ingenierías. Blvd. Los Castillos 375, Villas Montes Azules. C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. Email: cesar.gomez@uvmnet.edu

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del análisis de la factibilidad de contribuir al desarrollo sustentable del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. México, mediante la implementación de un sistema de biogás producido en biodigestores alimentados con excretas de ganado vacuno, para su uso como energía térmica en las ladrilleras del municipio. Se recabaron datos sobre combustibles utilizados, cantidad de personas involucradas en las ladrilleras y se determinó el Dióxido de Carbono (CO₂) emitido por los hornos analizados. También se instaló y se evaluó un biodigestor en un rancho cercano a las ladrilleras, para determinar el potencial de producción de biogás. Además, se realizaron pruebas con un prototipo de purificación y compresión de biogás diseñado en la Universidad del Valle de México campus Tuxtla, para determinar el potencial de manejo del biogás en su almacenamiento y transporte.

Palabras Clave: Biogás, Ladrillera, Compresión de Biogás, Purificación de Biogás.

Introducción

En este trabajo se evalúa la factibilidad de uso del biogás en la producción del ladrillo, el cual será generado en digestores anaeróbicos alimentados por excretas de ganado vacuno, que en caso de no darles ningún tratamiento también contribuyen al efecto invernadero, debido a que el biogás contiene metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Masters, *et al.*, 2008).

La industria ladrillera es una importante actividad productiva generadora de empleos en México. De acuerdo al INEGI (2009), existen en el país 18,768 unidades económicas dedicadas a la manufactura de productos a base de arcillas y refractarios para la construcción, quienes ocupan a 53,550 personas directamente. Sin embargo, esta industria continúa usando combustibles y sistemas de combustión con muy baja eficiencia térmica y altamente contaminantes (Romo, 2004). En el municipio de Chiapa de Corzo, se utilizan diversos combustibles como el diesel, el aserrín de madera, la cáscara de café, leña, olotes, llantas y aceite gastado (Gómez, 2011); combustibles que producen contaminación por CO₂ (Casado 2005, 2010). Esta actividad productiva da sustento a más de 400 familias de la zona (SEMARNAT, 2005), y en los últimos años la producción se ha incrementado, debido a que satisface una gran parte de la demanda de la industria de la construcción, que en los últimos años ha tenido un crecimiento inclusive mayor que el producto interno bruto (SHCP, 2010).

El término biogás se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos (Martínez *et al.*, 2008), como lo es el estiércol animal. En este proceso realizado por bacterias, el biogás está compuesto en un 50% a un 70% de CH₄ y de un 30% a un 50% de CO₂, además de contener ácido sulfhídrico (H₂S) y otros gases de menor importancia.

Actualmente el uso del biogás se realiza en su mayoría en zonas de producción agropecuaria; es decir, en el mismo lugar en donde se genera, por lo que existe una gran necesidad de hacer el biogás transportable (Zafar, 2006), y esto puede hacerse comprimiendo el biogás en cilindros, lo

cual es posible únicamente después de remover el CO₂, el H₂S y los componentes del vapor de agua (Kapdi *et al.*, 2006). Una vez que se ha purificado, el biogás resultante presenta características muy similares a las del gas natural (GNC), por lo que puede ser utilizado en las mismas aplicaciones que este (Vijay, 2007).

Metodología

El estudio se desarrolló en cuatro etapas. En la primera se determinaron los sitios que iban a ser visitados. Con base en el "Diagnóstico de las condiciones de operación de los hornos ladrilleros ubicados en el municipio de Chiapa de Corzo" (SEMARNAT, 2005), se determinó que existen en el municipio 126 hornos y 428 familias dependen directamente de estas actividades. Se pudo tener acceso al 25.4 % de la población total (32 ladrilleras) del municipio y el criterio que se utilizó para seleccionar estos centros de producción, fue el de acudir a las ladrilleras con mayor capacidad de producción y que utilizaran los combustibles más utilizados en esta región.

La segunda etapa consistió en visitar a las 32 ladrilleras que correspondían. A cada una de ellas se le referenció geográficamente utilizando un equipo de posicionamiento global y a los responsables de cada una, se les aplicó una encuesta sobre la cantidad y tipo de combustibles utilizados, el número de trabajadores, así como las cantidades y características de las materias primas usadas en la elaboración del ladrillo.

La siguiente etapa residió en la instalación y pruebas de un biodigestor rígido DM-1, en el Rancho Nueva Esperanza, ubicado en el Ejido Galecio Narcía, Municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, con coordenadas geográficas Longitud: 92°59'59"; Latitud. 16°40'28". Esto con el objeto de determinar el potencial de producción de biogás de un centro de producción de ganado vacuno lechero y que se encontrara próximo a la producción del ladrillo (a 7 kilómetros de distancia de la ladrillera más cercana).

La etapa final consistió en realizar pruebas de desempeño en la purificación y presurizado de biogás en laboratorio, con un prototipo diseñado en la Universidad del Valle de México, campus Tuxtla. El dispositivo tiene la función de filtrar el biogás para eliminar el H₂S y el CO₂ para incrementar el potencial calorífico del CH₄ como combustible, además de comprimirlo en tanques portátiles para facilitar su almacenamiento y transporte hacia los hornos de ladrillo. En esta etapa, se realizaron cálculos de capacidad de purificación, compresión y de consumo de energía eléctrica necesaria para llevar a cabo dicha operación, todo esto para poder evaluar la factibilidad del uso del biogás como combustible en las ladrilleras en cuestión.

Resultados

Tipos de combustibles utilizados

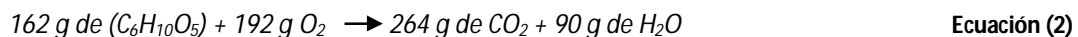
De los centros de producción (ladrilleras) muestreadas, se encontró que 157 familias dependen económicamente de esta actividad, que se realizan un total de 724 sesiones de cocción de ladrillo (quemadas) al año en total, con un promedio de 22, 000 piezas de ladrillo por cada una. Del total de quemadas, 46% se efectúan con madera (leña) proveniente principalmente de las siguientes especies arbóreas: Mulato (*Bursera simaruba* L. Sarg), Matiliguato (*Tabebuia rosea*), Brasil (*Haematoxylon brasiletto* Karst.), Mezquite (*Prosopis juliflora*), Capulín (*Muntingia calabura* L.), Cuaulote (*Guazuma ulmifolia*), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Guamúchil (*Pithecellobium dulce*), Guash (*Leucaena leucocephala* (Schlecht.) M. Sousa.), Maluco (*Genipa americana*) y Guayabo (*Psidium guajava*). [Conabio, 2010]. Las quemadas realizadas con cáscara de café (*Coffea arabica* L.) conocida en la zona como "cascabillo" corresponden al 22% de total de las quemadas. El 10% de ellas se realizan con los residuos de la mazorca de maíz (*Zea mays* var. *saccharata*) conocido como "olote" y finalmente el 22% se realizan con aceite gastado de mantenimiento automotriz.

Cantidad de CO₂ emitido por la combustión de madera

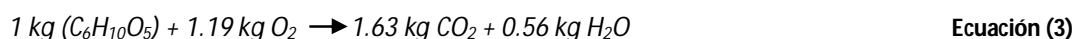
Debido a los resultados obtenidos anteriormente, la mayor preocupación proviene del uso de la madera como combustible, debido a que genera doble impacto ambiental. El primero es debido a que la combustión de madera sin control genera contaminación por dióxido de carbono a la atmósfera. El segundo impacto consiste en promover la deforestación de la región, debido a que la madera utilizada, como se mencionó en el punto anterior, proviene de la tala de bosques y no de madera de desperdicio. La cantidad estimada de madera utilizada por quema es de 5,517 kg, y de acuerdo a Carazo (2006) se generan 1.63 kg de CO₂ por kilogramo de madera incinerada, debido a que la madera es celulosa en su mayor parte (García et. al, 2006; Orea et. al, 2004), que es un polímero natural cuya macromolécula tiene la fórmula empírica n(C₆H₁₀O₅). Por lo tanto, la combustión de madera sería entonces combustión de celulosa y la reacción molecular de la misma será:



Teniendo en cuenta los pesos moleculares de cada elemento, se tiene:



Por lo tanto, si se dividen estos pesos entre 162 se tendrá la reacción ajustada para 1 kg de madera (celulosa):



Por lo que, si se usa 1.00 kg de Madera, se generará 1.63 kg de CO₂. Si en un horno típico de ladrillo del municipio de Chiapa de Corzo Chiapas se utilizan 5,517 kg de leña y se realizan 336 quemas al año, entonces se generarán 3,022 toneladas de CO₂ al año derivadas del uso de madera (leña) en la muestra de ladrilleras evaluadas.

Cantidad de biogás a generar en el rancho

El Rancho Nueva Esperanza es un rancho lechero de ganadería intensiva que cuenta con 200 hembras (vacas) con un peso promedio de 425 kg, 2 machos (toros) adultos con un peso promedio de 600 kg, y 100 crías (becerros) con un peso promedio de 150 kg. Todo el ganado es bovino de registro raza AFS (Australian Freisian Sahiwal). Según Wayllas (2010) y Elizondo (2005) un ejemplar vacuno puede llegar a producir desde un 6% hasta un 8% de estiércol con relación a su peso. Por lo tanto, si tomamos en cuenta únicamente el peso promedio de las vacas del rancho, debido a que son las que servirán para fines de cálculo de este artículo, podemos calcular entonces la cantidad diaria de estiércol a producirse y que será materia prima potencial para la generación de biogás. El peso promedio por animal resulta ser de 425 kg, y si existe una cantidad de 200 ejemplares, y si consideramos como promedio de estiércol producido por animal el 6.5% de su peso, entonces se tendría una producción de estiércol de 5,525 kg/día.

Debido a las características físicas del rancho se dificulta la recolección del total de excremento, por lo que se calculó que la cantidad diaria de estiércol máxima a recolectar y a depositar en el biodigestor será del 30%, por lo tanto el total de estiércol aprovechable para producir biogás será de 1,658 kg/día.



Figura 1. Biodigestor instalado en el Rancho

Para determinar la cantidad de biogás a producir, se instaló y se probó un biodigestor de plástico rígido DM-1 (Farrera, 2011), con capacidad volumétrica de 1,100 L y conectado a una bolsa de geomembrana reservorio con capacidad de 3.5 m³ (Figura 1). Dicho biodigestor fue alimentado con estiércol, en una proporción de 3 L de agua por cada 1 L de estiércol, generando una producción promedio de 0.031 m³ de gas producido por cada kilogramo de alimentación de materia orgánica al día (Tabla 1). Con esto, se deduce que la cantidad aproximada de producción diaria en el biodigestor utilizando todo el estiércol aprovechable en el rancho, sería de 51.4 m³/día.

Tabla 1. Producción de Biogás en el Biodigestor Rígido DM-1 Instalado en el Rancho Nueva Esperanza

| Estiércol alimentado (Kg) | Volumen de Biogás (m ³) | Rendimiento Biodigestor (kg/m ³) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| 180 | 3.5 | 0.0194 |
| 180 | 5.0 | 0.0277 |
| 90 | 3.5 | 0.0388 |
| 90 | 3.5 | 0.0388 |
| Promedio de Producción | | 0.0311 (m ³ /kg) |

Tabla 2. Datos de presión contra masa de biogás

| Presión (psi) | masa (kg) | Presión (psi) | masa (kg) |
|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 10 | 0.303 | 175 | 0.469 |
| 65 | 0.342 | 190 | 0.487 |
| 80 | 0.365 | 200 | 0.495 |
| 95 | 0.381 | 210 | 0.504 |
| 115 | 0.406 | 215 | 0.512 |
| 125 | 0.415 | 230 | 0.53 |
| 150 | 0.437 | 235 | 0.532 |
| 165 | 0.454 | | |

Compresión y purificación del biogás

Se realizaron pruebas de desempeño al sistema de compresión y purificación de biogás en un prototipo diseñado en la Universidad del Valle de México, campus Tuxtla (Figura 2).



Figura 2. Equipo de Purificación y Presurizado

El equipo trabaja en dos etapas. La primera consiste en la eliminación del Ácido Sulfhídrico (H_2S) usando virutas de acero (Martínez, 2008) convertidas en Fe_2O_3 (Oxido Férrico) que reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico (H_2S), formando Sulfuro Férrico (Fe_2S_3). También el sistema de purificación incluye un sistema de filtro húmedo que usa agua a presión en filtro de columna (Morero, 2010), en donde el agua es aplicada desde la parte superior, y por la parte inferior se suministra el biogás, lo que ocasiona burbujeo en la solución que absorbe el dióxido de carbono. Este proceso de purificación del biogás mediante absorción por agua a presión es un proceso usado para la compresión y embotellado del biogás. (Vijay, 2007). Con este sistema, se obtienen concentraciones de por lo menos 95% de metano (CH_4) en el biogás.

La siguiente etapa consiste en un proceso de compresión y almacenamiento del biogás purificado en recipientes metálicos de alta presión (Tabla 2). En las pruebas se utilizaron tanques metálicos con capacidad de 10 L, alcanzándose en promedio una presión máxima de 16.52 kg/cm^2 y una masa de biogás en cada tanque con media de 0.532 kg, a una temperatura de trabajo de 35°C (Tabla 3). Además el consumo de energía eléctrica durante todo el proceso de purificación y compresión fue de 0.42 kWh, a un costo en México (Septiembre, 2013) de \$0.056 dólares por kWh.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de purificación y presurizado de biogás

| Volumen del tanque | Presión Máxima alcanzada | Masa de biogás contenida en el tanque | Temperatura Inicial de trabajo | Temperatura Final de trabajo | Tiempo total de proceso | Potencia eléctrica consumida |
|--------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 10 L | 235 psi (16.52 kg/cm^2) | 0.532 kg | 30°C | 35°C | 35 min. | 720 W |



Figura 3. Flama obtenida con el gas purificado y presurizado

Cantidad de biogás requerido para cocer ladrillo en un horno típico de Chiapa de Corzo, Chiapas.

De acuerdo a los datos obtenidos en campo en la “Ladrillera Cupasmí”, con ubicación en Longitud 92°59’59” y Latitud. 16°40’28”, se requieren 1,800 kg de aceite lubricante gastado para cocer 20,000 piezas de ladrillo. De acuerdo a los datos obtenidos por COMIMSA (2002) y González (2012), el potencial calorífico del aceite gastado es de 8,500 kcal/kg. Por lo tanto, la cantidad de calor requerida para completar la cocción del ladrillo es de 15.3×10^5 kcal.

También se realizaron pruebas para medir el potencial calorífico del biogás purificado (Figura 3) usando el método propuesto por Martina *et al* (2006), comparando la transferencia de calor del gas licuado del petróleo con poder calorífico conocido (10,900 kcal/kg), contra la transferencia de calor debida a la combustión del biogás, al calentar un litro de agua (Tabla 5) con ambos combustibles en iguales condiciones de presión, masa y tiempo de calentamiento (Figura 4). De esta manera se obtuvo un potencial calorífico del biogás purificado de 9,000 kcal/kg (Tabla 4), lo que significa que el biogás purificado contiene por lo menos un 94.73% de Metano (CH₄) debido a que el potencial calorífico del metano puro es de 9,500 kcal/kg; entonces, con esto podemos calcular que para terminar el proceso de cocido del ladrillo utilizando biogás se requerirán de 1,700 kg de Biogás.

Tabla 4. Datos obtenidos para los cálculos del potencial calorífico del biogás

| | Massa (kg) | ΔT (°C) | Tempo (min) | Potencial Calorífico (Kcal/kg) |
|--|---------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|
| Biogás | 0.013 | 50 | 8 | 8,993.67 |
| Gas Licuado del Petróleo (Gas L.P.) | 0.014 | 65.3 | 8 | 10,907.14 |

Tabla 5. Mediciones de temperatura contra tiempo en el calentamiento de un litro de agua con biogás

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 22 |
| 2 | 25.5 |
| 4 | 37 |
| 6 | 41.2 |
| 8 | 48 |
| 10 | 57 |
| 12 | 61 |
| 14 | 63 |
| 16 | 67 |
| 18 | 72 |

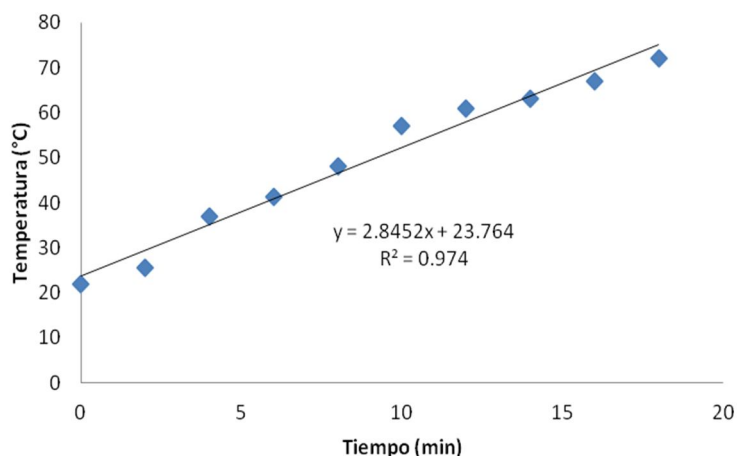


Figura 4. Grafica de temperatura contra tiempo

Las ecuaciones enlistadas a continuación fueron las que se utilizaron para calcular el potencial calorífico del biogás purificado y envasado:

$$Q_G = (PC_{GAS\ L.P.}) \times (masa_{GAS\ L.P.}) = (10,907.14\ kcal/kg) \times 0.014\ kg = 152.7\ kcal \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$Q_{G,Agua.} = masa_{agua} \times C_{e_{agua}} \times \Delta T = 1\ kg \times (1\ kcal/kg) \times 65.3\ ^\circ C = 65.3\ kcal \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$Rend_{GAS\ L.P.} = Q_G / Q_{G,Agua.} = 42.8\% \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$Q_{Biogás, Agua} = masa_{agua} \times C_{e_{agua}} \times \Delta T = 1\ kg \times (1\ kcal/kg) \times 50\ ^\circ C = 50\ kcal \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$Q_{Biogás} = Q_{Biogás, Agua} / Rend_{GAS\ L.P.} = 50\ kcal / 0.428 = 116.91\ kcal \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$PC_{Biogás} = Q_{Biogás} / masa_{Biogás} = 8,993.67\ kcal/kg \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

Q_G : Calor entregado por el Gas L.P. al quemarse.

$PC_{GAS\ L.P.}$: Potencial Calorífico del Gas L.P. de acuerdo a la hoja de seguridad del material.

$Q_{G,Agua.}$: Calor recibido por el agua al calentarse con el Gas L.P.

$Rend_{GAS\ L.P.}$: Rendimiento del proceso de calentamiento de agua con Gas L.P.

$Q_{Biogás, Agua}$: Calor recibido por el agua al calentarse con Biogás.

$Q_{Biogás}$: Calor entregado por el Biogás al quemarse

$PC_{Biogás}$: Potencial Calorífico del Biogás.

Con base en los resultados anteriores, la producción diaria de biogás será de 51.4 m³/día (5,140 L/día), del cual por lo menos el 60% del volumen total es metano (3,084 L/día). Sin embargo, esa cantidad de metano se encuentra a presión atmosférica y tiene que ser comprimida en un tanque estacionario de 10,000 L para su transporte, por lo que para calcular la cantidad de masa de metano presurizada en el tanque, debemos hacer las consideraciones siguientes: primero determinamos el peso molecular del biogás purificado y presurizado con el sistema mencionado anteriormente, y posteriormente con el resultado obtenido, se calcula la cantidad de masa de biogás que se tendría en un tanque de almacenamiento de mayor tamaño.

Con el dato calculado del peso molecular del biogás purificado (84.16 g/mol) y aplicado la ley de los gases ideales (Cengel, 2009), pero cambiando el volumen del tanque, podemos determinar la cantidad de masa de biogás presurizado que tendríamos en un tanque metálico de 10,000 L a 235 psi, la cual sería de 531.99 kg. Por lo tanto, para contar con 1,610.5 kg la cual es la cantidad suficiente de metano para cocer 20,000 ladrillos, se requerirán de 3 días de producción de biogás en el rancho.

Finalmente, otra consideración importante es la cantidad estimada de CO₂ que se generaría al quemar los 1,610.5 kg de biogás previamente mencionados. Por lo tanto, con base en la reacción de combustión (Howell, 1990) del metano, el cual es corresponde al 94% de volumen del biogás purificado se puede calcular este dato. Por lo tanto, la combustión de 1,000 gramos de CH₄ genera 2,750 gramos de CO₂. Esto significa que 1,610.5 kg de biogás usados como combustible generarían 4,348.35 kg de dióxido de carbono.

Conclusiones

La mayoría de las interpretaciones de desarrollo sustentable coinciden en que, para llegar a ello, las políticas y acciones para lograr crecimiento económico deberán respetar el medio ambiente y además ser socialmente equitativas (Artaraz, 2002). Por lo tanto, las conclusiones de este artículo están basadas en esta premisa:

- Es necesario disminuir el uso de madera como combustible en la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. En el presente trabajo se estimó que para dar abasto a las 336 quemas al año con uso de madera, se requieren deforestar cuatro hectáreas (40,000 m²) de zonas arboladas en este mismo periodo.
- Se producen 15, 928,000 de ladrillos en las 32 ladrilleras evaluadas, cantidad necesaria para construir 3,185 viviendas al año de interés social, de acuerdo a las dimensiones mínimas establecidas por el Instituto del Fondo de la Vivienda de México (INFONAVIT, 2010), actividad económica que involucra a 128 familias.

- Un horno tradicional de ladrillo requiere de 5,517 kg de madera por sesión de cocción, y si un kilogramo de madera incinerada genera 1.63 kg de dióxido de carbono, entonces cada horno que utiliza madera genera 8,992.71 kg de CO₂.
- Al usar como combustible alternativo el biogás purificado y presurizado (con contenido de por lo menos 94% de metano), se requiere por horno 1,610.5 kg de este material, lo que genera 4,348.35 kg de dióxido de carbono. Es decir, cada horno que sustituya el uso de madera por biogás, emitirá 52% menos de CO₂.

Referencias Bibliográficas

- Artaraz, M. (2002) Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, **11**(2).
- Carazo, A. (2006) Cifras básicas de la relación Madera-Fijación de Carbono-CO₂ atmosférico. *Montes: revista de ámbito forestal*, **84** (junio), 48-52.
- Casado, M. (2005) *Procesos de producción más limpia en ladrilleras de Arequipa y Cusco: diagnóstico situacional* (Informe técnico). Swiscontact Perú, COSUDE, Programa Regional de Aire Limpio (PRAL). Recuperado el 11 de abril de 2010, desde <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/handle/123456789/6250>
- Casado, M. (2010) *Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera*. Recuperado el 10 de octubre 2011, desde www.redladrilleras.net/documentos_galeria/LMPs%20Ladrilleras.pdf
- Cengel, Y., Boles, M. (2009) *Termodinámica*, 6ª ed., Mc Graw-Hill Editorial, México DF, 701 pp.
- COMIMSA, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (2002) Paquete tecnológico para la disminución de la contaminación en las ladrilleras del municipio de Saltillo. Recuperado el 23 de mayo 2010, desde <http://www.comimsa.com.mx/casos-e-01.html>
- CONABIO, Comisión Nacional de la Biodiversidad (2010) Especies Nativas para la Reforestación. Recuperado el 20 de diciembre de 2011, desde http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/indice_especies.html#A
- Elizondo, J. (2005) El fósforo en los sistemas ganaderos de Leche, *Agronomía Mesoamericana*, **16**(2), 231-238.
- Farrera, N. (2011) Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas y su contribución al Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales Marginadas de Chiapas. *Tesis de Doctorado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 125 pp.
- García, H., Martell, O., Guyat, M., Capote, V., Aguirre, B. (2006) Caracterización química del follaje, la corteza y la madera de cinco especies forestales de la sierra maestra, *Revista Forestal Baracoa*, **25**(1), 57-64.
- Gómez, C. (2011) Estudio exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *Lacandonia*, **5** (1), 89-95.
- González, L. (2012) Optimización del Proceso de Combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de cal y derivados de la corporación Los Nevados. *Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, Riobamba, Ecuador. 62 pp.
- Howell, J., Buckius, R. (1990) *Principios de termodinámica para Ingeniería*, Mc Graw-Hill Editorial, México DF, 773pp.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009) Censos Económicos, Micro, pequeña, mediana y gran empresa: estratificación de los establecimientos. Recuperado desde http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/Mono_Micro_peque_mediana.pdf
- INFONAVIT, Instituto del Fondo para la Vivienda (2010) Subdirección General de Sustentabilidad y Técnica. Recuperado el 5 de diciembre de 2010, desde http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/Infonavit/EI+Instituto/Calidad_de_vida/01_Vivienda/01_Vivienda?id=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM_Content/01_Vivienda/3c810413-081d-4cf7-92f7-4c137a8c58fe/PUBLISHED

- Kapdi, S., Vijay, V., Rajesh, S., Prasad, R. (2005) Biogás scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context, *Renewable Energy*, **30**(2005), 1195-1202.
- Martina, P., García, E., Corace, J., Aeberhard, M., Ventin, A. (2006) Biogás e Isobutano: análisis comparativo de una propiedad termodinámica, *Resúmen: T-035, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste*. Recuperado el 5 de enero de 2013, desde <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-035.pdf>
- Martínez, R., Chávez, E., López, I. (2008) Utilización del biogás como combustible para motores de combustión interna, *V Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica (COMEC 2008)*, Santa Clara, Cuba. 4 a 6 noviembre.
- Martínez, R., Chávez, E., López, I. (2008) Utilización del biogás como combustible para motores de combustión interna. (Informe Técnico). *V Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica*, Santa Clara, Cuba, 4 a 6 noviembre.
- Masters, G., Wendell, E. (2008) *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*, Pearson Prentice-Hall Editorial, España. 519 pp.
- Morero, B., Gropelli, E., Campanella, E. (2010) Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás, *Ciencia y Tecnología*, **10**, 187-201.
- Orea, U., Carballo, L., Cordero, E. (2004) Composición química de tres maderas en la provincia de pinar del río, Cuba a tres alturas del fuste comercial. Parte 3: *Eucalyptus Saligna* Smith, *Revista Chapingo, series ciencias forestales y del ambiente*, **10**(2), 71-75.
- Romo, M., Córdova, G., Cervera, L (2004) Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez, *Estudios Fronterizos*, **5** (9), 9-34.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2005) Diagnóstico de las condiciones de operación de los hornos ladrilleros ubicados en el municipio de Chiapa de Corzo. México. Recuperado en septiembre de 2010, en las oficinas de la delegación Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Departamento de Manejo Integral de Contaminantes, 125 pp.
- SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2010) *Crecimiento de la Industria de la Construcción en el año 2010*. Recuperado el 2 de septiembre, desde http://www.shcp.gob.mx/POLITICAFINANCIERA/FINANZASPUBLICAS/Estadisticas_Oportunas_Finanzas_Publicas/Informacion_mensual/Paginas/finanzas_publicas.aspx
- Vijay, V., Chandra, R., Subbarao, P., Kapdi, S. (2006) Biogás Purification and Bottling into CNG Cylinders: Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications, *2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)*, Bangkok Tailandia, 21 a 23 de noviembre.
- Wayllas, J. (2010) Diseño de un biorreactor chino anaerobio a partir de estiércol vacuno en la comunidad El Olivo-Pallatanga, *Tesis de Ingeniería en Biotecnología, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, Riobamba, Ecuador, 59 pp.
- Zafar, S. (2006) A Case Study to Bottle the Biogas in Cylinders as Source of Power for Rural Industries Development in Pakistan, *World Applied Sciences Journal*, **1**(2), 127-130.