

Original**Evaluación de los Residuos Sólidos Urbanos como recurso energético renovable en el municipio Yara entre 2016 y 2018****Evaluation of the urban solid residuals as renewable energy resource in the municipality Yara between 2016 and 2018**

Ing. Reiler Vicente Ortiz Anaya. Universidad de Granma. Bayamo. Granma, Cuba.

[\[rortiza@udg.co.cu\]](mailto:rortiza@udg.co.cu) 

Ing. Grisel Lisbeth García Sánchez. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba

[\[ggarcias@udg.co.cu\]](mailto:ggarcias@udg.co.cu)

Ing. Raúl Arturo Jiménez. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba.

[\[rtarturoj@udg.co.cu\]](mailto:rtarturoj@udg.co.cu)**Recibido:** 24/05/2020 | **Aceptado:** 9/11/2020**Resumen**

La biomasa es un recurso renovable, distribuido y abundante en Cuba, aunque en la actualidad su uso con fines energéticos es muy limitado frente a otras fuentes de energía renovable. La implementación de aplicaciones de la biomasa para la generación de calor, electricidad y/o cogeneración requiere optimizar técnica, económica y ambientalmente su proceso de aprovechamiento. El objetivo principal es la evaluación de la biomasa de los residuos sólidos urbanos como recurso energético renovable en el municipio Yara de la provincia de Granma entre 2016 y 2018, y el análisis de los diversos factores que contribuyen a la viabilidad de la producción de energía eléctrica a partir de este recurso. Como resultados del trabajo se obtuvo que la biomasa de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) producida en Yara en el periodo comprendido entre los años 2016-2018 fue de 142 800, 151 000 y 101 400 t respectivamente de residuos aprovechables como recurso energético renovable, a partir de los cuales se estima que pudieron generarse 5 654 880, 5 979 600 y 4 015 440 m³ de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia de la biomasa de RSU. Pudiéndose generar 33,93; 35,88 y 24,09 GWh de energía eléctrica en los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente. Además, se reducirían las emisiones a la atmósfera 28,33 veces el CO₂; 32,86 veces el SO₂ y 1,09 veces el NO₂.

Palabras claves: biomasa; biogás; digestión anaerobia; residuos; residuos sólidos; residuos urbanos.

Abstract

The biomass is a renewable, distributed and abundant resource in Cuba, although now its use with energy ends is very limited in front of other sources of renewable energy. The

implementation of applications of the biomass for the generation of heat, electricity and/or cogeneration requires to optimize technique, economic and environmentally its use process. The main objective of the thesis is the evaluation of the biomass of the urban solid residuals as renewable energy resource in the municipality Yara of the county Granma among 2016 and 2018, and the analysis of the diverse factors that contribute to the viability of the electric power production starting from this resource. As results of the work it was obtained that the biomass of RSU taken place in Yara in the period understood among the years 2016-2018 was de 142 800, 151 000 and 101 400 t respectively of profitable residuals as renewable energy resource, starting from which he/she is considered that 5 654 880, 5 979 600 and 4 015 440 biogas m³ could be generated by means of the process of digestion anaerobia of the biomass of RSU. Being able to generate 33, 93; 35, 88 and 24,09 GWh of electric power in the years 2016, 2017 and 2018 respectively. Also, they would decrease the emissions to the atmosphere 28,33 times the CO₂; 32,86 times the SO₂ and 1,09 times the NO₂.

Keywords: biomass; biogas; digestion anaerobe; residuals; solid residuals; urban solid residuals.

Introducción

El aprovechamiento energético de los residuos de biomasa se ha incrementado a lo largo de los últimos años en el planeta. El principal motivo de este incremento es la necesidad de cumplir los objetivos energéticos a nivel global, estos objetivos están directamente relacionados con las limitaciones sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que se derivan del Protocolo de Kyoto.

Otros factores externos como la tendencia en el consumo internacional de recursos de origen fósil, el incremento de precios de las materias primas y la aparición de nuevas legislaciones favorable al desarrollo de las energías renovables (ER), y en concreto, al fomento de la energía generada a partir de biomasa, promueven el aprovechamiento energético de este recurso de diversos orígenes (forestal, industrial, agrícola y cultivos energéticos) para la producción de electricidad y/o calor Martínez (2009).

La producción de calor, electricidad, transformación de los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad, así como el mejoramiento de las condiciones higiénicas por la reducción de organismos patógenos, son algunas de las potencialidades del biogás Karekezi y Kithyoma, (2009).

Una fuente alternativa para la obtención de energía que se impulsa en diversas naciones, entre estas Cuba. De acuerdo con un reciente informe publicado por la Oficina Nacional de Estadística e Información, en el año 2015 se reportó el uso de 620 digestores y 80 plantas de

biogás instalados en el sector estatal, creciendo la energía sustituida por estos dispositivos en un 8,22%, comparado con el año 2017.

Como sustituto de combustibles fósiles, el biogás es utilizado como combustible en generadores eléctricos que, dependiendo de la cantidad de biogás producido, pueden generar pequeñas y medianas potencias, existiendo a su vez la posibilidad de reducir del impacto ambiental.

El biogás es un gas combustible que se puede obtener a partir de la biomasa, tal como son los desechos de humanos y de animales, residuos agrícolas, aceites vegetales y plantas acuáticas, por mencionar algunos. Este gas puede ser utilizado, por ejemplo, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en alumbrado y en la cocción de alimentos. El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica, que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

En Granma, el conocimiento existente sobre este recurso renovable ha ido aumentando en función de la implantación de experiencias sobre producción de energía con biomasa a escala local, y del trabajo conjunto entre distintas entidades que han evaluado la viabilidad del aprovechamiento energético de este recurso bajo criterios de sostenibilidad.

Población y muestra

Caracterización del municipio Yara

El municipio de Yara situado en la parte oeste de la provincia de Granma, de la que forma parte, ocupando el 8^{vo} lugar en superficie, con una extensión territorial de 571,4 km². Limita por el norte con el municipio de Río Cauto, por el sur con el de Bartolomé Masó, por el este con Bayamo y Buey Arriba y por el oeste con Manzanillo y la Ensenada de Maboá en el Golfo de Guacanayabo. Las principales carreteras de la provincia le brindan comunicación al territorio, la carretera Bayamo-Manzanillo por los Consejos Populares Las Caobas y El Espino, la carretera Bayamo-Bartolomé Masó por el Consejo Popular Paquito Rosales y la carretera central atravesando los Consejos Populares Los Cayos, Veguita, Cayo Redondo y delimitando los Consejos de Yara Norte y Yara Sur.

Desarrollo del territorio

Al surgir la República, extenderse el ferrocarril y construirse la Carretera Central se produjo un importante desarrollo económico del territorio, sobre todo en el área cercana al poblado de Sofía donde existía un central azucarero.

Actualmente el municipio está dividido en 12 Consejos Populares:

- Yara Norte
- Yara Sur
- Veguita
- Sofía
- José Martí
- Mateo Romás
- Cayo Redondo
- Paquito Rosales
- Los Cayos
- El Espino
- Las Caobas
- Buey de Gallego

Desarrollo económico

El triunfo revolucionario trajo consigo numerosos cambios, las nuevas leyes beneficiaron en gran medida a sus pobladores, pues al ser un territorio eminentemente agrícola la promulgación de la Primera Ley de Reforma Agraria dio la posibilidad a los desposeídos de ser dueños de las tierras que anteriormente hacían producir para engrosar las arcas de los adinerados del territorio. Considerándose el municipio como uno de los principales productores de alimento de la provincia al poseer 3 436 caballerías de superficie agrícola, destinadas en su gran mayoría a la producción de cultivos varios y de arroz. Muestra de ello es la Empresa de Cultivos Varios Paquito Rosales, con sus casas de cultivo tapado y las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), las Cooperativas de Créditos y Servicios Fortalecidas (CCSF), los organopónicos y la Brigada Arrocería No. 10 "Bartolomé Masó Márquez".

En la cabecera municipal se encuentra enclavada la Fábrica de Conservas y Vegetales Yara, considerada uno de los principales pilares en la producción de compotas para los niños de las provincias orientales. Además, se producen varias conservas para el consumo nacional e internacional. Existe todo un sistema comercial y con la debida relación; agricultura, industrial, transporte y comercio. El peso fundamental es del Comercio Interior, partiendo de un plan de movimiento de productos, especies agroindustriales y frutos menores, con destino a la industria alimenticia, la población y otros. Todo para responder a los balances alimenticios desde el nivel nacional hasta el municipal, e incluso para entregas al comercio exterior, ventas al turismo, y la sustitución de importaciones.

Materiales y métodos

- Metodología utilizada para la evaluación de la biomasa de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

La metodología debe proporcionar una herramienta de evaluación de los recursos de biomasa (biomasa de RSU) y de análisis de la viabilidad económica, tecnológica y ambiental de la generación de electricidad como alternativa de aprovechamiento.

Los distintos módulos de los que se compone la metodología se describen brevemente a continuación (figura 1):

- M1 – Módulo de fuentes de biomasa: se identifican las principales fuentes de biomasa y se evalúa cantidad, características y disponibilidad de este recurso.
- M2 – Módulo de tecnología de aprovechamiento de biomasa: caracteriza la tecnología de aprovechamiento de la biomasa (digestión anaerobia) en cuanto a eficiencia energética, costos y restricciones.
- M3 – Módulo de demanda potencia: evalúa la demanda energética por su elevado potencial, se tendrá en cuenta por su posible impacto en la aplicación energética potencial de los recursos de biomasa.
- M4 – Módulo de emisiones e impacto ambiental: evalúa el ahorro de emisiones debido a la generación de electricidad con esta tecnología y la cantidad de combustibles fósiles que se dejaría de consumir con su utilización.

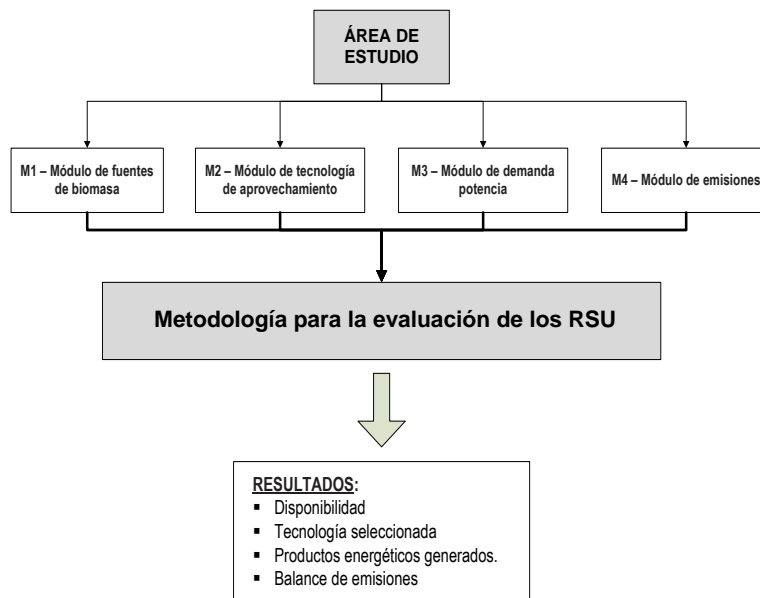


Figura 1. Esquema general de la metodología empleada para determinar el aprovechamiento energético de la biomasa.

Descripción de los módulos

- **Módulo de fuentes de biomasa**

La cuantificación y caracterización de los recursos de biomasa está dividida en los siguientes bloques:

1. Identificación, tipificación y caracterización previa.

La clasificación general más utilizada está basada en identificar y caracterizar los recursos de biomasa de acuerdo con su procedencia, distinguiendo:

- Residuos agrícolas (residuos de las cosechas, restos de poda.).
- Residuos Sólidos Urbanos.

- La caracterización puede basarse en datos directos, análisis específicos, informes sectoriales y bases de datos nacionales elaboradas para tales fines, estas presentan amplia tipología, información y elevada fiabilidad.

2. Cuantificación aproximada de biomasa disponible.

La cuantificación se realizará mediante datos directos de estudios precedentes y estimaciones basadas en coeficientes de generación de residuos.

- Datos y fuentes de información utilizados

La información requerida debe estar detallada a nivel municipal, y debe cubrir los siguientes apartados:

- Datos sobre producción de biomasa residual disponible.
- Actividad de recogida de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Las principales fuentes de información utilizadas han sido las siguientes:

- Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) en el municipio Yara.
- UEB Servicios Comunes.
- Dirección Municipal de Planificación Física Yara.

En cuanto a información específica sobre datos de generación de residuos biomásicos se citan en cada caso los documentos utilizados.

- Tipificación y caracterización previa

Atendiendo a su origen, los distintos tipos de biomasa que pueden ser utilizados con fines energéticos, se clasifican en dos grandes grupos: natural y residual Solar (2013):

a) Biomasa natural

Este tipo de biomasa se produce en la naturaleza, sin intervención humana y en bosques. Se trata de un recurso que no debe ser utilizado masivamente con fines energéticos, ya que podría llevar a la destrucción de los ecosistemas naturales. Este recurso constituye la principal fuente energética de pueblos y países en vías de desarrollo.

b) Biomasa residual (seca o húmeda)

Se considera biomasa residual a la generada en cualquier actividad humana, destacando los subproductos de las industrias forestales, agrícolas, ganaderas, papeleras, alimenticias. Se engloban también en este grupo los residuos sólidos urbanos, lodos de papeleras, aguas residuales industriales.

Como ejemplo de biomasa seca se puede considerar la cáscara de algunos cultivos, el orujo, las podas de frutales, paja de cereales.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables como aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines). Esta biomasa suele tener un contenido en humedad superior al 60%.

La biomasa residual presenta la ventaja de que, además de ser un residuo que puede aprovecharse energéticamente, contribuye a la descontaminación de las zonas en que se producen. En muchas ocasiones, las instalaciones que aprovechan sus propios residuos pueden llegar a ser energéticamente autosuficientes; tal es el caso de las industrias papeleras, industrias de la, granjas.

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. En los países desarrollados en los que cada vez se usan más envases, papel, y en los que la cultura de "usar y tirar" se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas.

Composición de los RSU

Los residuos producidos por los habitantes urbanos comprenden basura, muebles y electrodomésticos viejos, embalajes y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles. El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas.

La basura suele estar compuesta por:

- Materia orgánica: son los restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos junto la comida que sobra.
- Papel y cartón: periódicos, revistas, publicidad, cajas y embalajes.
- Plásticos: botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos y cubiertos desechables.
- Vidrio: botellas, frascos diversos, vajilla rota.
- Metales: latas, botes.
- Otros

▪ Cuantificación

La cuantificación se realizara mediante datos directos de estudios precedentes y estimaciones basadas en el coeficiente de generación de RSU. Solar (2013):

- Coeficientes de generación de RSU [CGRSU] $\left(\frac{\text{kg residuos}}{\text{día}} \right)$. Cuando el coeficiente en cuestión se basa en los RSU recolectados diariamente.

Los valores en peso de biomasa residual, productos y materias primas están referidos a masa con un porcentaje de humedad de referencia (o típico), el cual no se incluye para el análisis.

Módulo de tecnología de aprovechamiento de biomasa

En este apartado se realizarán consideraciones técnico-económicas sobre la tecnología de aprovechamiento energético de biomasa, para este caso la generación de biogás por la digestión anaerobia. Estas consideraciones permitirán valorar esta tecnología según la aplicación energética deseada y las características del residuo disponible.

- Caracterización del proceso de generación de biogás

Como se explicó anteriormente, la digestión anaerobia 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. La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas Campero (2012).

La tecnología anaerobia es una tecnología a tener en cuenta a la hora de resolver problemas ambientales y a la vez energéticos tiene algunas ventajas y desventajas, las cuales enunciaremos a continuación Rodríguez (2007).

Ventajas de la tecnología:

- Proceso natural de tratamiento de residuos orgánicos.
- Requiere menos espacio que los vertederos sanitarios.
- Es una fuente de energía renovable.
- Produce combustible de calidad y ecológico.
- Elimina patógenos presentes en la materia orgánica durante el proceso, minimizando su efecto contaminante.
- Reduce la cantidad de CO₂ causantes del desequilibrio del efecto invernadero cuando se sustituye la quema de combustibles fósiles por biogás.
- Su quema genera H₂O y CO₂.

Desventajas críticas del biogás:

- Costos elevados de instalación y mantenimiento.
- Formación de gas sulfhídrico (H₂S) variable.
- Corrosión de los equipamientos (provocada fundamentalmente por el H₂S).
- Necesidad de uso "in situ" por no ser posible licuarlo a temperaturas normales.

Debido al poder calorífico del biogás es posible su aprovechamiento mediante combustión, dependiendo de su captación, quemándolo y transformándolo en energía eléctrica mediante motores de combustión interna, sustituyendo a los combustibles tradicionales Chamy y Vivanco, (2007). Por ello se consideran las propiedades específicas del biogás que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Características generales del biogás.

	55 – 70% metano (CH ₄)
Composición	30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0 – 6,5 kW·h/m ³
Equivalente de combustible	de 0,60 – 0,65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	de 650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 g/mol

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008).

Módulo 1

La estimación de la demanda potencial local permitirá considerar la producción de electricidad aplicando el biogás como combustibles y compararla con la energía eléctrica consumida como promedio tanto en el sector estatal como residencial del municipio Yara en el año 2015. Para ello se tiene en cuenta los datos de la tabla 2 que fueron facilitados por la Empresa Eléctrica UEB Yara.

Tabla 2. Indicadores eléctricos del municipio Yara.

Año	2016	2017	2018
Consumo (kW)	37,68	38,73	38,78
Importe (\$)	15 163 551,35	92 3179 0,18	96 176 95,12

Fuente: (Empresa Eléctrica UEB Yara, 2019).

Módulo de emisiones e impacto ambiental

La utilización de la biomasa pura como combustible tiene unas emisiones que se consideran muy bajas, en el sentido de que el CO₂ emitido en la combustión ha sido absorbido previamente de la atmósfera OCCC (2011). Por lo tanto, se aplicará a la biomasa el factor de emisión mostrado en la tabla 1.1 correspondiente a la tecnología de producción de electricidad de los cultivos tecnológicos. Estos resultados se compararán con las emisiones debidas a la utilización de combustibles fósiles (fuel/gas de la tabla 3) para la generación de la misma cantidad de electricidad que con la biomasa analizada, lo que implica que este módulo permitirá estimar el ahorro de las emisiones de GEI.

Tabla 3. Emisiones de las tecnologías de producción de electricidad

Tecnologías de producción de electricidad	Emisiones (g·kW·h ⁻¹)		
	CO ₂	SO ₂	NO ₂
Cultivos tecnológicos/Biogás	17 – 27	– 0,016 – 0,07	1,1 – 2,5
Fuel/Gas	765	2,3	1,2

Análisis de los resultados

Disponibilidad de generación de biomasa en el municipio Yara

Utilizando los datos proporcionados por las fuentes de información referidas, se logró estimar los coeficientes de generación de residuos sólidos urbanos en función de la recogida de desechos en el municipio Yara en la provincia de Granma.

Tabla 4. Disponibilidad de generación de biomasa en el municipio Yara.

Tipo	U/M	Año		
		2016	2017	2018
Materia orgánica	t	94 248	99 660	66 924
Vidrio	t	7 140	7 550	5 070
Papel y cartón	t	7 140	7 550	5 070
Plásticos	t	11 424	12 080	8 112
Metales	t	2856	3020	2028
Otros	t	19 992	21 140	14 196
TOTAL	t	142 800	151 000	101 400

Para la generación de biogás solo se contabilizan los RSU que se incluyen en las materias orgánicas porque son los que tienen la humedad requerida para que se produzca el proceso de digestión anaerobia.

Producción estimada de biogás a partir de los residuos superficiales

La tabla 5 y la figura 2 muestran la producción estimada de biogás a partir de los RSU. Se puede observar la posibilidad de generar un total de 5 654 880 m³, 5 979 600 m³ y 4 015 440 m³ de este compuesto en los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente.

Tabla 5 Producción estimada de biogás de los RSU en Yara.

Año	2016	2017	2018
Cantidad de biogás (m ³)	5 654 880	5 979 600	4 015 440

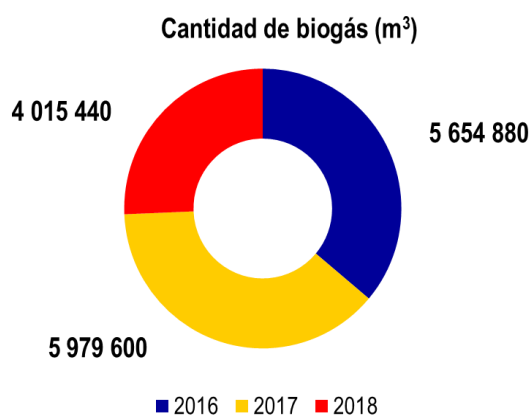


Figura 2. Producción estimada de biogás (m³) de los RSU en Yara.

Tabla 6. Producción estimada de electricidad en Yara.

Año	2016	2017	2018
Energía eléctrica generada (MWh)	33,93	35,88	24,09
Consumo anual (%)	90,0	92,6	62,1

Si se comparan estos resultados con los de la tabla 2 y la tabla 6 demuestra que en caso de haber utilizado toda la biomasa estimada para la generación de electricidad se pudo alimentar al 90,0% del municipio Yara en el año 2016, al 92,6% en el año 2017 y al 62,1% en el año 2018.

Análisis de las emisiones e impacto ambiental

La tabla 6 expone que producto a la generación de electricidad del potencial de biomasa calculado se emiten a la atmósfera 916,09 t de dióxido de carbono; 2,38 t de dióxido de azufre y 37,32 t de dióxidos de nitrógeno, en el año 2016, para el año 2017 se emiten 968,69 t de dióxido de carbono; 2,51 t de dióxido de azufre y 39,47 t de dióxido de nitrógeno y para el año

2018 corresponden 650,50 t de CO₂, 1,69 t de SO₂ y 26,50 t de NO₂. Si se comparan estas cantidades de GEI con las que se emitiría mediante la generación de la misma cantidad de electricidad, pero a través de combustibles fósiles, en este caso fuel o gas natural, se reducirían 28,33 veces las emisiones de dióxido de carbono, 32,86 veces las emisiones de dióxido de azufre y 1,09 veces las emisiones de dióxido de nitrógeno aportando importantes beneficios medioambientales (observar tabla 7).

Tabla 7. Comparación de los GEI en la generación de electricidad.

Emisiones de CO ₂ (t)	Año		
	2016	2017	2018
Cultivos tecnológicos/Biogás	916,09	968,69	650,50
Fuel/Gas	25955,89	27446,36	18430,86
Razón	28,33	28,33	28,33
Emisiones de SO ₂ (t)	Año		
	2016	2017	2018
Cultivos tecnológicos/Biogás	2375049,6	2511432	1686484,8
Fuel/Gas	78037344	82518480	55413072
Razón	32,86	32,86	32,86
Emisiones de NO ₂ (t)	Año		
	2016	2017	2018
Cultivos tecnológicos/Biogás	37322208	39465360	26501904
Fuel/Gas	40715136	43053120	28911168
Razón	1,09	1,09	1,09

La energía eléctrica del biogás producido de los residuos de la biomasa agropecuaria en el municipio Yara en el año 2016 equivale a 10 775,94 tep, o sea, sería posible dejar de producir la combustión de esa misma cantidad de toneladas de crudo de petróleo que supone un aporte significativo a la economía nacional; para el caso del año 2017 equivaldría a 11 394,73 tep y para el 2018 serían 7 651,82 tep.

Conclusiones

1. Los Residuos Sólidos Urbanos producidos en Yara en el periodo comprendido entre los años 2016-2018 fue de 142 800; 151 000 y 101 400 t respectivamente.
2. Se estima que se pudieron generar 5 654 880; 5 979 600 y 4 015 440 m³ de biogás a partir de la digestión anaerobia de la biomasa contabilizada.
3. En el municipio Yara se pudieron generar 33,93; 35,88 y 24,09GWh de energía eléctrica en los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente.
4. Utilizando los Residuos Sólidos Urbanos para generar energía eléctrica se reducirían las emisiones a la atmósfera 28,33 veces el CO₂; 32,86 veces el SO₂ y 1,09 veces el NO₂; ahorrándose 10 775,94 tep en 2016, para el caso del año 2017 11 394,73 tep y para el 2018 serían 7 651,82 tep.

Referencias bibliográficas

- Campero, O. (2012). *Monitorización y evaluación comparativa de la tecnología de biodigestión anaerobia como fuente de energía renovable en dos ámbitos familiar e industrial en Bolivia*. (Tesis Doctoral), Universidad de Huelva, España.
- Chamy, R., y Vivanco, E. (2007). Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás (pp. 82). Santiago, Chile.
- Cummings, B.. (1994). *Environmental science: action for a sustainable future*. Redwood City, California.
- Deublein, D., y Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- IDAE. (2005). *Plan de Energías Renovables, 2005-2010* (pp. 69): Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Karekezi, S., y Kithyoma, W. (2009). Bioenergía y agricultura: Promesas y retos. "La bioenergía y los pobres". *Enfoque 14*, 11-14.
- Martínez, S. (2009). *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña*. (Tesis Doctoral), Universidad de Girona, España.
- Míguez, C. D. (2013). *La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética*. (Tesis Doctoral), Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

- OCCC. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero* (pp. 67). Barcelona: Generalitat de Catalunya. Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. Oficina Catalana del Canvi Climàtic.
- ONEI. (2017). *Anuario Estadístico*. Granma 2017 (pp. 114). Cuba.
- Rodríguez, Y. (2007). *Implantación de una tecnología sostenible de producción de biogás en la comunidad rural “El Caney de las Mercedes”, en Cuba*. (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid.
- Solar, D. A. (2013). *Metodología para la Optimización del Aprovechamiento Energético de los Recursos de Biomasa. Aplicación a la Comunidad Valenciana*. (Tesis Doctoral), Universitat Politècnica de València, Valencia.