



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y ABONO LÍQUIDO MEDIANTE LA  
DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS DE LA  
FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN PUCALLPA –  
PERÚ”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

**BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presentado por:

Raúl André Gutiérrez Espantoso

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio

Lima-Perú

2020



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°138-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 26 de julio de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **“Obtención de biogás y abono líquido mediante la descomposición anaeróbica de residuos de la fermentación del mucílago de cacao en Pucallpa – Perú”**, presentado por:

- **Raúl André Gutiérrez Espantoso**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **“Obtención de biogás y abono líquido mediante la descomposición anaeróbica de residuos de la fermentación del mucílago de cacao en Pucallpa – Perú”**, con N° de registro de la carrera: **062-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.

  
*Documento firmado digitalmente*  
**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico  
Carrera de Ingeniería Ambiental

## **OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y ABONO LÍQUIDO MEDIANTE LA DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS DE LA FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN PUCALLPA - PERÚ**

Raúl Gutiérrez\*<sup>1</sup> Luis Gomero<sup>2</sup>  
Raangu97@gmail.com

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales. Panamericana Sur  
Km 19. Lima 42

### **RESUMEN**

El rápido crecimiento de la población conlleva a una acelerada producción y demanda de productos y de energía. Esto trae como consecuencia un incremento en la contaminación atmosférica y una mayor generación de residuos. Generalmente estos son llevados a rellenos sanitarios o botaderos. Sin embargo, el método de gestión de residuos sólidos en botaderos y rellenos sanitarios no es suficiente para considerarlo la mejor opción de gestión, sostenibilidad y viabilidad. Una de las alternativas más viables en las últimas décadas y que permite una mejor y adecuada gestión de residuos es la digestión anaeróbica (D.A.) de residuos orgánicos. La D.A. consiste en aprovechar el potencial energético de los residuos para su posterior transformación en biogás y biofertilizantes. Los residuos del mucílago de cacao es una gran alternativa viable, debido a que actualmente no tiene un valor agregado, se produce en gran cantidad y no tiene una adecuada gestión en la Provincia de Padre Abad (Pucallpa, Perú).

**Palabras claves:** Residuos orgánicos, mucílago de cacao, digestión anaeróbica, biogás, biofertilizante.

### **ABSTRACT**

Rapid population growth leads to accelerated production and demand for products and energy. This results in an increase in air pollution and a greater generation of waste. Generally these are taken to landfills or dumps. However, the method of managing solid waste in landfills and landfills is not enough to consider it the best option for management, sustainability and viability. One of the most viable alternatives in recent decades and that allows better and adequate waste management is anaerobic digestion (D.A.) of organic

waste. D.A. It consists of taking advantage of the energy potential of the waste for its subsequent transformation into biogas and biofertilizers. Cocoa mucilage waste is a great viable alternative, since it currently has not added value, is produced in large quantities and is not properly managed in the Padre Abad Province (Pucallpa, Peru).

**Key words:** Organic waste, cocoa mucilage, anaerobic digestion, biogas, biofertilizer.

## INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la población a nivel mundial requiere de un incremento en el consumismo, lo cual termina teniendo como consecuencia una gran generación de residuos sólidos (Asase et al., 2009). Estos, al ser mal gestionados son fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) (Tan et al., 2014).

Los combustibles fósiles representan actualmente la fuente principal de energía en todo el mundo. Sin embargo, sus usos traen consigo impactos negativos como las emisiones contribuyentes al cambio climático y el agotamiento de recursos para su producción (Hong et al., 2014). Las emisiones de GEIs representan los gases más importantes, ya que han incrementado la temperatura del planeta en 4.8 °C desde el origen de la era industrial (IPCC, 2013).

Debido a los problemas mencionados, las labores de investigadores y el interés sobre el desarrollo de transformación y producción de nuevas fuentes de energía han aumentado con el objetivo de reemplazar su elevada y creciente demanda en todo el mundo. El uso de energías renovables es una de las técnicas más empleadas en las últimas décadas, por ejemplo: La eólica, la geotérmica, la hidráulica, la solar y la obtenida a partir de biomasa son las planteadas como fuente alternativa de energía para suplir a los combustibles fósiles (Bautista, 2008).

En las últimas dos décadas se ha tenido un gran interés por el uso de biomasa agrícola en la producción de energía a nivel mundial, debido a su gran potencial energético (Ávila et al., 2018). Toda sustancia proveniente de cultivos industriales o alimentarios, se le conoce como biomasa agrícola (Parra & Vecino, 2016). Una de las formas de producción de energía y considerada la más eco amigable con el medio ambiente en la actualidad es la biogeneración, mediante la cual podemos obtener como resultado una fuente de energía renovable llamada biogás a partir de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos (Siles, 2012).

La digestión anaeróbica consiste en una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno ( $O_2$ ), en donde se utiliza un biodigestor, y como materia prima, residuos orgánicos y agua. De esta manera, por acción microbiológica y biológica en un periodo de semanas o meses se logra obtener como resultado biofertilizantes y biogás (Fregoso et al., 2001).

La producción de biogás a partir de biomasa tiene como principal propósito contribuir con la reducción de gases de efecto invernadero, pero a su vez, representa una alternativa viable y limpia de obtención de energía y resuelve el gran problema de gestión y disposición final de desechos. Además, los lodos residuales producidos al obtener el biogás pueden ser utilizados como biofertilizantes para cultivos (Aguilera, 2016).

Por otro lado, la Amazonía del Perú es apta para el desarrollo y el crecimiento del cacao debido a que presenta las condiciones climáticas necesarias (IICA, 2006). La región de Ucayali representa el 8% y 6% aproximadamente de la producción nacional de cacao y de la superficie empleada para su cultivo, respectivamente (Minagri, 2015).

Asimismo, el cacao presenta un residuo mucilaginoso (baba o mucílago de cacao) obtenido como producto de un proceso fermentativo llevado a cabo en la producción de cacao de buena calidad. Este, se encuentra compuesto por células esponjosas, las cuales

poseen células de savia ricas en azúcares (entre el 10% y 13%), ácido cítrico (entre el 1% y 2%), pentosas (entre el 2% y 3%) y sales (entre el 8% y 10%) (Kalvatchev et al., 1998).

Por ende, debido a su composición, el mucílago de cacao podría ser transformado en biogás mediante un proceso de digestión anaeróbica en un biodigestor. Sin embargo, se requiere de ciertas condiciones para lograr asegurar la máxima efectividad en el resultado. Es por ello que se deben tomar en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten un desarrollo óptimo en este tipo de ensayo (Huertas, 2015).

La temperatura y el pH representan a los más importantes en el proceso. La temperatura influye directamente en el crecimiento y supervivencia de la comunidad microbiana. Existen 3 rangos de temperatura: Termofílica, mesofílica y psicofílica; siendo una temperatura baja la más perjudicial teniendo un impacto negativo en el crecimiento y actividad de los microorganismos, provocando una reacción lenta y menos efectiva (Mao et al., 2015). El pH tiene repercusión sobre el proceso de digestión anaeróbica y la eficiencia en él. Los metanógenos (microorganismos descomponedores) trabajan de manera eficiente entre los valores de pH de 6.5 – 8.2, alcanzando su óptimo desarrollo con un pH 7 (Kondusamy & Kalamdhad, 2015).

El cultivo de cacao generado en la parte amazónica del país produce gran cantidad de residuos orgánicos. Lamentablemente no se sabe del potencial energético que estos podrían tener y tampoco existe una adecuada gestión, es por ello que suelen ser quemados, generando emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, contribuyendo con el cambio climático (Ruíz, 2015).

En el artículo presentado por Delgado, et al. (2018), se menciona la utilización del mucílago de cacao para la producción de bioetanol (un tipo de biocombustible) en Ecuador (Delgado et al., 2018).

Por otro lado, en el artículo presentado por Ruíz (2015), se menciona información con respecto a las hectáreas tomadas en el cultivo de cacao en 2 provincias de la región de Ucayali (Padre Abad y Coronel portillo). Los datos fueron anuales y se determinaron los siguientes aspectos: su producción (en toneladas), el potencial energético como recurso orgánico y la potencia que se podría generar a partir de su procesamiento (en MG) (tabla 1).

**Tabla 1. Datos por año del cacao según estudios**

		Terreno	Producción	Potencial	Potencia equivalente
Ucayali	Padre Abad		0.84 t/ha		
	Coronel portillo	2885 ha	0.87 t/ha	136.8 TJ/año	10.5 MW

Fuente: Ruiz (2015)

Tomando como zona de potencial interés a la provincia de Padre abad. Se concluyó que se podría cubrir aproximadamente con el 20% de la demanda energética de la ciudad de Pucallpa. Tomando como referencia la demanda actual de aproximadamente 55 MW.

Es por eso que en el presente artículo se propone aprovechar el mucílago o baba del Cacao mediante su descomposición anaeróbica para obtener como resultado final biogás. Además de obtener un abono orgánico o biofertilizante a partir de los lodos residuales que podrá ser empleado en zonas de cultivo.

## REVISIÓN TEÓRICA

### Contaminación

La cumbre de los pueblos señala que la contaminación es la incorporación de cualquier tipo de elemento o sustancia en un entorno al cual no pertenece, refiriéndonos básicamente al medio ambiente. Además, también se refiere al uso de componentes no

aptos en ciertos ecosistemas, lo que podría influir en el deterioro del lugar e incluso de la vida existente allí en un periodo determinado (Cumbre de los Pueblos, 2017).

### **Contaminación ambiental**

La contaminación ambiental es la inclusión de agentes nocivos en cualquier estado al medio ambiente. Estos pueden ser de origen biológico, químico o físico, además de atentar contra la salud humana y contra la vida de animales y plantas. Desde aparición del hombre, los seres vivos se han adaptado perfectamente y desarrollado perfectamente en el ecosistema, mientras que, la evolución humana ha modificado indefinidamente el medio de acuerdo a sus intereses y pensando en la satisfacción de sus necesidades; produciendo un impacto negativo que viene siendo acelerado desde la revolución industrial hasta la actualidad. Por ello, la revolución industrial es considerada como el inicio de la contaminación del suelo, agua y aire. (PHS Serkonten, 2017).

La organización protectora del ambiente “Greenpeace” indica que en nuestra sangre existen alrededor de 300 sustancias contaminantes y alrededor de 33’000 personas mueren por contaminación atmosférica en España al año (Greenpeace, 2018).

### **Residuos sólidos**

Los residuos sólidos son aquellos que pueden ser encontrados en estado sólido, líquido, gaseoso y semisólido, producidos por las diferentes actividades antropogénicas. (Red iberoamericana de aprovechamiento de residuos orgánicos (Bioenergía, 2015).

### **Tipos de residuos sólidos**

Existen variedad de residuos sólidos, según la “Gestión de residuos, tratamiento de suelos y agua” (EMGRISA) se clasifican de tres formas diferentes (EMGRISA, 2014) (Tabla 2).

### **Tabla 2. Clasificación de los residuos sólidos según EMGRISA**



<b>SEGÚN</b>		
<b>Su origen</b>	<b>Sus características fisicoquímicas</b>	<b>Según su constitución</b>
Residuos domésticos	Residuos inertes	Residuos radioactivos
Residuos comerciales	Residuos no peligrosos	Residuos sanitarios
Residuos industriales	Residuos biodegradables	Residuos de construcción y demolición
Residuos peligrosos		

Sin embargo, según el “Ministerio del ambiente” los residuos sólidos se clasifican de acuerdo al siguiente cuadro (MINAM, 2016) (Tabla 3)

**Tabla 2. Clasificación de los residuos sólidos según MINAM**

<b>SEGÚN</b>		
<b>Su origen</b>	<b>Su gestión</b>	<b>Su peligrosidad</b>
Residuo domiciliario	Residuo de ámbito municipal	Residuos peligrosos
Residuo Comercial		
Residuo de Limpieza		
Residuo hospitalario		
Residuo industrial		
Residuo de construcción	Residuo de ámbito no municipal	Residuos no peligrosos
Residuo Agropecuario		
Residuos de actividades especiales		

### **Residuos sólidos orgánicos**

Son aquellos residuos que pueden degradarse rápidamente, en su gran mayoría biodegradables, o sea que tienden a descomponerse naturalmente y transformarse en

materia orgánica. Estos usualmente son utilizados para realizar procesos de biodigestión en biodigestores, por ejemplo: restos de comida, huevo, carne, verduras, frutas, estiércol o cualquier tipo de residuo de cosechas (Aguilar, 1999).

### **Mucílago de cacao**

Es un producto orgánico obtenido como resultado de procesos fermentativos llevados a cabo en la producción de cacao de buena calidad. Se encuentra compuesto por células esponjosas, las cuales poseen células de savia ricas en azúcares (entre el 10% y 13%), ácido cítrico (entre el 1% y 2%), pentosas (entre el 2% y 3%) y sales (entre el 8% y 10%) (Kalvatchev et al., 1998).

Por lo tanto, el mucílago de cacao podría ser transformado en biogás mediante el proceso de digestión anaeróbica en un biodigestor. Sin embargo, se requiere de ciertas condiciones para lograr asegurar la máxima efectividad en el resultado. Es por ello que se deben tomar en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten un desarrollo óptimo en este tipo de ensayo (Huertas, 2015).

### **Estiércol**

Se le llama así a los desechos producidos por distintos animales. Representa el mejor desecho para procesos de digestión anaeróbica, debido a que ya se encuentra preparado al encontrarse lleno de nutrientes y balanceado en celulosa. (Mandujano et al. 1981).

### **Biogás**

El biogás está compuesto por una combinación de gases producidos por digestión anaeróbica de residuos sólidos urbanos. La digestión anaeróbica es una tecnología de gran interés a nivel mundial y con un porcentaje de eficiencia elevado en cuanto a la gestión de residuos y valorización de energía. Los pronósticos a futuro son satisfactorios, debido

a que aporta a la disminución del fenómeno de cambio climático y por ser una fuente de energía renovable (Lauwers et al. 2013). El gas más abundante en esta mezcla es el metano ( $\text{CH}_4$ ) (Fernandez et ál., 2007). Este gas es un poderoso calentador, considerado entre los principales GEI, causante del calentamiento global (Ahmed, et al, 2015).

### **Biodigestor**

El principal equipo para el procesamiento y obtención de biogás es el biodigestor, el cual tiene como objeto acelerar los procesos naturales que ocurren en los rellenos sanitarios mediante la descomposición anaeróbica de RSU (Martinez, 2003).

### **Digestión anaeróbica**

Es un proceso degradativo anaeróbico (ausencia de  $\text{O}_2$ ) en donde la materia orgánica es transformada en una mezcla de gases ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  principalmente), a través de la acción de una serie de microorganismos descomponedores. Además, los procesos anaeróbicos son capaces de generar un biogás que se puede utilizar como una fuente de energía (Ortega, 2006).

### **Etapas de la degradación anaeróbica**

#### **a) Hidrólisis**

Es la primera etapa en la digestión anaeróbica y depende de las enzimas, aquellas que transforman componentes complejos y grandes como grasas, polisacáridos, ácidos nucleicos, lípidos, proteínas, etc. en componentes más pequeños (Adekunle & Okolie, 2015). Para ello, ciertos microorganismos segregan enzimas, con el fin de cortar las moléculas grandes y puedan ser aprovechados por los microorganismos puedan utilizarlos como fuente de energía y nutrición (Kondusamy & Kalamdhah, 2014).

#### **b) Acidogénesis**

Los monómeros formados en la fase anterior son absorbidos por bacterias y degradados en productos orgánicos de cadena corta como ácido propiónico, butírico, dióxido de carbono e hidrógeno (Bedoya & Sousa, 2009).

En resumen, durante esta etapa, aminoácidos, azúcares simples y ácidos grasos se transforman en alcoholes y ácidos orgánicos (Adekunle & Okolie, 2015).

### **c) Acetogénesis**

En esta etapa, un grupo de bacterias llamadas bacterias acetogénicas deben degradar o reducir moléculas orgánicas en productos más sencillos, ya que tan solo algunas moléculas generadas en el proceso anterior podrán ser metabolizadas por bacterias metanogénicas para convertirse en metano, aquellas que no, deben convertirse en productos más fáciles de degradar (hidrógeno y acetato) antes de pasar a la siguiente etapa mediante este proceso.

### **d) Metanogénesis**

En esta, la etapa final de degradación anaeróbica el grupo de bacterias metanogénicas actúan sobre los productos elaborados en procesos anteriores. Dentro de los microorganismos anaeróbicos estos pueden ser considerados los más importantes, ya que son los que producen el mayor porcentaje de metano restante a partir de sustratos monocarbonados o bicarbonados unidos por enlace covalente.

Además, se pueden diferenciar dos grupos de microorganismos: hidrogenotróficos (consumen fórmico y mezcla de  $H_2$  y  $CO_2$ ) y acetoclásticos (consumen acetato y metanol principalmente).

### **Factores principales tomados en cuenta en la digestión anaeróbica (D.A.)**

La digestión o descomposición anaeróbica es un proceso biológico, por lo cual requiere de ciertas condiciones para lograr asegurar su máxima efectividad en el resultado. Es por

ello que se deben tomar en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten un desarrollo óptimo en este tipo de ensayo (Huertas, 2015).

#### **a) Relación Carbono – Nitrógeno**

Los microorganismos consumen ambos elementos en el proceso de digestión anaeróbica en distintas proporciones. Existen diversos criterios, pero la relación C/N conocida como más apta es de 20-30:1. La relación de C/N puede ser calculada a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Relación C /N} = \frac{(C1X1 + C2X2 + C3X3 + \dots)}{(N1X1 + N2X2 + N3X3 + \dots)}$$

En donde: N = % de nitrógeno en la materia prima

X = peso de la materia prima

C = % de carbono en la materia prima

#### **b) Temperatura**

Es uno de los factores más importantes en todo el proceso, esto se debe a que la temperatura influye directamente en el crecimiento y supervivencia de la comunidad microbiana. Cabe resaltar que la D.A. puede lograrse en los tres rangos de temperatura (termofílica, mesofílica y psicofílica), sin embargo, una temperatura baja tiende a tener la reacción más inesperada en cuanto a resultados; teniendo un impacto en la reducción de crecimiento y actividad de microorganismos, reacción más lenta y menor efectividad en el proceso (Mao et al., 2015). Cabe resaltar que en este caso, se trabajará bajo temperaturas mesofílicas (20-45°C).

#### **c) pH**

El pH tiene repercusión sobre el proceso de D.A. y la eficiencia en él. Los metanógenos (microorganismos descomponedores) trabajan de manera eficiente entre los valores de pH de 6.5-8.2, alcanzado su óptimo desarrollo con un pH de 7 (Kondusamy & Kalamdhad, 2015).

### CONCLUSIONES

En el Perú las grandes cantidades de residuos generan impactos ambientales negativos que afectan la atmósfera, el paisaje urbano y la salud de las personas. La provincia de Padre Abad (Ucayali) no escapa de dicho problema. Allí se encuentra la Cooperativa Colpa de loros, la cual presenta una gran dificultad en la gestión de residuos generados en la producción de cacao. Además, estos residuos suelen ser quemados, contribuyendo a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera y emanando olores desagradables que alteran la comodidad de la población.

El uso de residuos orgánicos como fuente energética y generación de biogás es una de las posibles soluciones y/o alternativas a la contaminación atmosférica y una adecuada gestión de residuos a nivel local. Los gases emanados por la descomposición anaeróbica de desechos orgánicos pueden ser capturados y empleados para la generación de biogás y abono líquido.

Si esta técnica fuera empleada a gran escala y empleada en más empresas con gran producción de residuos orgánicos, la contaminación atmosférica reduciría considerablemente y se tendría un mejor y adecuado manejo de residuos. Por último se le daría un valor agregado a materiales sin uso, generando beneficios sociales a partir de residuos.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

Adekunle, K. F., & Okolie, J. A. (2015). A review of biochemical process of anaerobic digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(03), 205.

Aguilar Rivero, M. (1999). Reciclamiento de basura: una opción ambiental comunitaria.

Aguilera, E. A. R. (2016). Producción de biogás a partir de Biomasa. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (17), 11-22.  
Doi: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i17.2610>

Andrés Siles, F (2012). Generación de energía eléctrica a partir de producción de biogás.

Asase, M., Yanful, E.K., Mensah, M., Stanford, J., Amponsah, S., 2009. Comparison of municipal solid waste management Systems in Canada and Ghana: a case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana. *Waste Manag.* 29 (10).

Ávila-Hernández, M., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2018). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(2), 159-170

Bautista, A. D. (2008). Un análisis económico político para México del Protocolo de Kyoto. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 1(1), 1. Recuperado de: <file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-UnAnalisisEconomicoPoliticoParaMexicoDelProtocoloD-2661062.pdf>

Bedoya, O. A., & Sousa, L. S. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 7(2), 24-31.

Cumbre de los pueblos (2017). Contaminación: Que es, clases y causas Recuperado de: <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/>

Delgado Noboa, J. W., Peña, J. Á., & Soler, J. (2018). *Optimización de la producción de bioetanol en procesos fermentativos del mucílago de Cacao CCN-51 en un biorreactor tipo batch* (No. ART-2018-106656). Recuperado de: Doi: <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.201802821>

Empresa para la gestión de residuos ambientales (2014). Tipos de residuos: Clasificación. Recuperado de: <http://www.emgrisa.es/publicaciones/tipos-de-residuos/>

Fernández, J., & Saavedra, C. (2007). Obtención de biogas a partir de bagazo de caña y estiércol. *Creando*, 6, 105-118.

Fregoso, M., Cerrato, R., Barra, J., González, G., Santos J., Gómez, L., & Pérez, G. (2001). *Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra Latinoamericana*, 19(4), 353-362. Recuperado de: Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.061>

Greenpeace (2018). Contaminación. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/contaminacion/>

Hong, T., Koo, C., Kwak, T., & Park, H. S. (2014). *An economic and environmental assesment for selecting the optimum new renewable energy system for educational facility. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 286-300. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.061>



Huertas, R. A. P. (2015). *Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. Producción+limpia*, 10(2). Recuperado de:

<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/905>

IICA, 2006. *Protocolo estandarizado de oferta tecnológica para el cultivo de cacao en el Perú*. Recuperado de:

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7494/BVE19039775e.pdf;jsessionid=CDC8C92314A304FF014B4CF2569B4AEC?sequence=1>

IPCC, 2013. Working Group 1 Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis Summary for Policymakers.

Kalvathev, Z., Garzaro, D. & Guerra, F. (1998). *THEOBROMA CACAO L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud*. p. 24. Recuperado de: <http://www.revenicyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/agroal/v6/articulo2.pdf>

Kondusamy, D., & Kalamdhad, A. S. (2014). *Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production—A review. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1821-1830. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.024>

Lauwers J, Appels L, Thompson IP et al (2013) Mathematical modelling of anaerobic digestion of biomass and waste: Power and limitations. *Prog Energy Combust Sci* 39:383–402

Mandujano, M. I., Félix, A., & Martínez, A. M. (1981). *Biogas: energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos: manual para el promotor de la tecnología* (No. 665.776 M273b). Morelos, MX: Organización Latinoamericana de Energía.

Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

Martinez, G. L. (2003). Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. Alternativa energética y fuente de trabajo. *Tecnura*, 7(13), 31-43.

Minagri (2015). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. Recuperado de: <file:///C:/Users/User/Downloads/estudio-cacao-peru-julio-2016.pdf>

Ministerio del ambiente (2016). Manejo de residuos sólidos. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

Ortega, N. M. (2006). *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process*. Universal-Publishers.

PHS Serkonten (2017). ¿Qué es la contaminación ambiental? Causas y efectos de la polución ambiental. Recuperado de: <https://www.phsserkonten.com/sanidad-ambiental/contaminacion-ambiental/>

Red Iberoamericana de aprovechamiento de residuos orgánicos y en producción de energía (2015). Bioenergía: fuentes, conversión y sustentabilidad. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=YpnxCAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=YpnxCAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Ruiz Ruiz, J. A. (2015). *Potencial energético de los residuos sólidos de caña (saccharum officinarium l) y cacao (theobroma cacao l) en las provincias de padre abad y Coronel Portillo*. Recuperado de: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2219>

S.I. Ahmed, A. Johari, H. Hashim, R. Mat, J.S. Lim, N. Ngadi, A. Asmadi, *Optimal landfill gas utilization for renewable energy production*, *Environ. Progress Sustain. Energy* 34 (1) (2015) 289–296

Tan, S.T., Lee, C.T., Hashim, H., Ho, W.S., Lim, J.S., 2014. Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. *J. Clean. Prod.* 71, 48e58.