

## **Estado del arte del proyecto: “Potencial energético de la generación de biogás a partir de residuos pecuarios en el Departamento del Atlántico”**

**Autores: Juan Cabello Eras - Alexis Sagastume Gutiérrez - Amaira Corrales Paternina - Henry Maury Ardila - Claudete Gindri Ramos.**

### **Resumen:**

Esta investigación determinará el potencial energético del biogás generado a partir de la digestión anaerobia de residuos pecuarios: pollinaza, porquinaza y bovinaza; en el Departamento del Atlántico. Se caracterizarán las fuentes: granjas, empresas pecuarias, y se hará una identificación y selección de las fuentes con potencial de aprovechamiento energético mediante un análisis multicriterio. Luego, se llevará a cabo una caracterización cuantitativa y cualitativa del potencial aprovechable de biogás y por último se establecerán escenarios posibles de aprovechamiento energético del biogás como fuente no convencional de energía renovable.

### **Marco teórico:**

Marco Teórico y Estado del Arte a. Marco Teórico La información recogida para el marco teórico nos proporcionará un conocimiento profundo de la teoría que le da significado a la investigación. Es a partir de las teorías existentes sobre el objeto de estudio, como pueden generarse nuevos conocimientos. a. Principales herramientas teóricas aplicadas. (Métodos, indicadores, variables, ecuaciones, softwares, gráficos.)

### **Estado del arte:**

. Estado del Arte Existe numerosas investigaciones recientes sobre la generación de biogás y su posible uso energético. También, existen investigaciones del potencial de la biomasa en cuanto a generación de energía, pero no existe investigaciones a partir de sustratos de origen agrícola y agropecuario de la Costa Caribe, por ejemplo, el Atlas de Biomasa para Colombia cuenta con cifras con cálculos genéricos del potencial energético de la biomasa residual. A continuación se relaciona la literatura consultada para fundamentar el proyecto y que marca los antecedentes de la investigación Optimization of the co-digestion of sewage sludge, maize straw and cow manure: microbial responses and effect of fractional organic characteristics Wei L, Qin K, Ding J, Xue M, Yang C, Jiang J, Zhao Q. December/ 2019 Scientific Reports Tiene estrecha relación con el proyecto, pero utiliza mezclas de diferentes tipos de sustancias orgánicas. Se describe un sistema de co-digestión de lodos de depuración, paja de maíz y estiércol de vaca, analizando la eficiencia y la calidad del biogás obtenido según las proporciones de cada material. Hydrogen and Methane Production from Codigestion of Food Waste and Chicken Manure Mohd Faiz Mat Saad, NorÁini Abdul Rahman, Mohd Zulkhairi Mohd Yusoff. January 2018 Clean-journal. Tiene relación con el proyecto en cuanto a la producción de metano. También se le da importancia a la producción de hidrogeno. Se describe un sistema de digestión conjunta de desechos de alimentos y estiércol de pollo mediante la adición de diferentes inóculos. A demás, se analiza el rendimiento cuando se

aplica o no tratamiento térmico a la materia orgánica. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste Hamed M. El-Mashad, Ruihong Zhang. June 2010 Clean-journal. Tiene relación con el proyecto. La diferencia es que además de estiércol, se emplea también residuos de alimentos. Se determinó el potencial de producción de biogás de diferentes mezclas de estiércol y desperdicio de alimentos no cribados. Methane Production from Anaerobic Co-Digestion of Poultry Manure Roshani, A., Shayegan, J., Babae, A. Dec., 2011 Journal of Environmental Studies Tiene estrecha relación, aunque no solo utilizan estiércol porcino, sino una mezcla de este con paja. Lograron aumentar la cantidad de nitrogena agregando paja. Evaluation of Co-Digestion at a Commercial Dairy Anaerobic Digester Craig Frear, Wei Liao, Tim Ewing, Shulin Chen. December, 2010 Clean-journal. Se analiza la producción de biogás a partir de residuos agrícolas, Se emplea la codigestión anaerobia. Studies on biogas production from vegetable market wastes in a two-phase anaerobic reactor V. Dhanalakshmi Sridevi, T. Rema, S. V. Srinivasan. November 2014 Researchgate Tiene relación con el proyecto en cuanto a la fermentación anaerobia para la producción de metano, la diferencia radica en que el material utilizado para tal fin son los residuos de frutas de los supermercados. Los residuos de frutas de supermercados también son comercializados en Colombia. Analysis of biogas production through anaerobics. Digestion using cow dung and various co-substrates Thamilselvan DHANAPAL and Kannan MARIYAPPAN 2016 Thermal Science Tiene mucha relación con el proyecto debido a que se utiliza como material de alimentación, en la producción de biogás a través de un sistema anaerobio, el estiércol de vaca. No obstante, se usan como co-restas los desechos de pasto, frutas y vegetales. Se centra en estiércol Bovino y digestión anaerobia. Anaerobic digestion and co-digestion of poultry litter submitted to different reuses Vicente, D.J., Jr., Costa, M.S.S.M., Costa, L.A.M., Pereira, D.C., dos Santos, F.T. November 2018 Engenharia Agrícola Tiene mucha relación con el proyecto. Pero también utilizan aguas residuales tamizadas, provenientes de la cría de lechones. Se describe la producción de biogás por medio de un proceso de Co-digestión anaeróbica entre residuos de la cría de aves de corral y agua residual de la cría de lechones. Anaerobic co-digestion of organic residues from different productive sectors in Colombia: biomethanation potential. Cabeza Ivan, Thomas María, Vásquez Aura, Acevedo Paola, Hernández Mario. 2016 AIDIC Tiene relación con el proyecto pero analiza la producción de biogás a partir de residuos orgánicos procedentes de varios sectores productivos. Energy analysis of in-series biohydrogen and methane production from organic wastes (Conference Paper) Escamilla-Alvarado, C., Ponce-Noyola, M.T., Poggi-Varaldo, H.M. aEmail Author, Ríos-Leal, E. García-Mena, J. Rinderknecht-Seijas, N. 2014 International Journal of Hydrogen Energy, 39 (29), pp. 16587 Environmental Biotechnology and Renewable Energies RandD Group, Dept. of Biotechnology and Bioengineering, P.O. Box 14-740, Mexico Se trata de obtener energía a partir de los residuos sólidos urbanos. Se determinó el potencial energético del acoplamiento de biorreactores a escala de laboratorio de hidrógeno semicontinuo o por lotes a una etapa metanogénica. Los potenciales energéticos resultantes ( $\hat{E}P$ ) se calcularon a partir de la combustión teórica del hidrógeno total o metano producido por todo el sustrato alimentado al proceso. Energetic and environmental sustainability of the co-digestion of sludge with bio-waste in a life cycle perspective (Article) Di Maria, F. Email Author, Micale, C., Contini, S. View LAR - Dipartimento di Ingegneria, University of Perugia, Via G. Duranti 93, Perugia, 06125, Italy 2016 Elsevier Ltd Directa relación. Se presenta las fortalezas de la codigestión de residuos líquidos (PTAR) y sólidos (residuos de frutas) La gestión integrada de lodos y residuos biológicos mediante co-digestión y compostaje se investigó en una perspectiva del ciclo de

vida Anaerobic Co-Digestion of Cassava Waste Water and Abdominal Cow Dung under Changing Meteorological Parameters. Cordelia Nnennaya Mama, Jonah Chukwuemeka Agunwamba. 2019 International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES) Mucha relación con el proyecto la diferencia es que a de más de estiércol de vaca, es utilizados residuos de yuca. El sistema se centra en la codigestión anaerobia. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia María Gonzále Sáncheza, Sergio Pére Fabiela, Arnoldo Wong Villarreal, Ricardo Bello Mendoza, Gustavo Yañez Ocampo. 2015 Revista Argentina de Microbiología. Total relación con el proyecto. Se utiliza como sustrato residuos agroindustriales tales como restos de plátano, mango y papaya, adicionando un inóculo microbiano. Anaerobic biodigestion as an energy alternative to reduce the consumption of firewood in rural areas(Article) Ariza, C.P. Rueda Toncel, L.A.Sardoth Blanchar, J. Universidad de La Guajira sede Fonseca-La Guajira, Colombia 2018 Editorial: Revista Espacios. Se relaciona en cuanto a la necesidad energética de las comunidades rurales Se evidencia la actualidad del proyecto de aprovechamiento energético. Anaerobic digestion as a sustainable solution for biosolids management by the Montreal Metropolitan Community Frigon, J.C., Guiot, S.R. 2005 Department of Environmental Bioengineering, Biotechnology Research Institute, National Research Council Canada, 6100 Royalmount, Montreal, Que. H4P 2R2, Canada Tratamiento biológico aerobioanaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost Daniel Blanco Cobián 2009 Universidad De León, León, España Tiene estrecha relación con el proyecto. Se utiliza como sustrato estiércol de vaca y gallinaza. (por separado) Sistema de tratamiento mixto, que combina secuencialmente la digestión anaerobia. Producción de biogás a partir de la biomasa de la microalga Scenedesmus sp. Procedente de diferentes procesos. Juan Luis Ramos Suarez. 2014 Universidad Politécnica de Madrid, España. Tiene estrecha relación con el proyecto. Se utiliza como sustrato de la microalga Scenedesmus sp. Se determina la eficiencia de Scenedesmus sp. en la producción de biogás a través de un proceso de digestión anaerobia. Producción de Biogas a partir de Biomasa residual pecuaria enriquecida con sub-productos agrícolas biocatalizadores Muñoz Espinoza Manolo. 2018 Universidad Nacional de Trujillo, Total relación con el proyecto. Se utilizan como sustrato las excretas de animales (aves, cerdos, ovinos y bovinos) Se evaluó la producción de metano in vitro a partir de excretas de animales, por un lapso de 216 horas . Monitorización y evaluación comparativa de la Tecnología de biodigestión anaerobia como fuente de energía renovable en dos ámbitos Familiar e industrial en Bolivia. Oliver Campero Rivero 2012 Universidad Internacional de Andalucía, España. Tiene mucha relación con el proyecto. Utiliza como sustrato para la generación de biogás los residuos de matadero y estiércol de ganado vacuno. La generación de biogás fue un poco menor a la convencional. Digestión y codigestión anaerobia de residuos Agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora. Brahim Arhoun 2017 Universidad de Málaga, España. Tiene mucha relación con el proyecto. Se utiliza como sustrato desechos provenientes del sector piscícola. Por otro lado, se evaluó la producción de biogás a partir de la mezcla de lodos mixtos municipales con residuos de frutas y verduras. Se analiza la generación de biogás a partir de un sistema de digestión anaeróbica utilizando los residuos mixtos. Valorización de Residuos de la Industria Agroalimentaria. Codigestión de estiércol de vacuno lechero y suero de quesería Muñoz Soler, Noelia. 2015 Universidad De Cantabria, España. Tiene estrecha relación con el proyecto, pero también utilizan suero de quesería. Se analiza la producción de biogás a partir la fase solida del estiércol de los bovinos. Por otro lado, se hace el mismo análisis pero utilizando la fase liquida del estiércol mezclada con el suero. Biodegradación de los residuos de un matadero

mediante un digestor continuo. Hernández Alfonso. 2016 Universidad de Extremadura, España. Tiene total relación con el proyecto, sin embargo, hay que resaltar que el material utilizado son los residuos por un matadero. También se realiza digestión anaerobia. Estudio de los residuos y subproductos Agroindustriales de la región de Murcia. Opciones de valorización mediante compostaje y Biometanización. Ana Belén Morales Moreno 2015 Universidad Politécnica de Cartagena, España. Tiene alguna relación con el proyecto. El sustrato utilizado son residuos de frutas y hortalizas, y residuos provenientes de la viticultura. Se describe un sistema de digestión anaerobia en el que se consideraron algunas alternativas como la incorporación de microorganismos beneficiosos como *Trichoderma harzianum*. Monitoring anaerobic digestion of animal slurry during inhibition and recovery phases Verónica Moset Hernández 2012 Universidad Politécnica de Valencia, España. Mucha relación con el tema. El sustrato utilizado es purín de cerdo. También se realiza digestión anaerobia. Codigestión anaerobia de residuos ganaderos con residuos urbanos e industriales Quiroga Álvarez, Gerardo 2014 Universidad de Oviedo, España. Mucha relación con el proyecto. Se utiliza como sustrato el purín bovino, lodos de depuradora y residuos de comida. Se analiza la producción de biogás a través de un digestor anaeróbico alimentado por la mezcla entre purín bovino, lodos de depuradora y residuos de comida. *isetum purpureum*) en la producción de biogás.

#### **Bibliografía:**

AENE Consultoría S.A. (2003), Potencialidades de los Cultivos Energéticos y Residuos Agrícolas en Colombia. Reporte

Preparado Para la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Available from:

[http://www.upme.gov.co/terminos/022\\_cultivos.pdf](http://www.upme.gov.co/terminos/022_cultivos.pdf).

Caspary, G. (2009), Gauging the future competitiveness of renewable energy in Colombia. *Energy Economics*, 31, 443-449.

Corredor, L. (2011), Contenido de Biomasa Y Carbón Potencialmente Almacenado En Los Bosques Del Sistema De Parques

Nacionales Naturales De Colombia. Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia (UAESPNN).

Escalante, H., Prada, J., Zapata, H., Cardona, M.C., UPME; Colciencias; IDEAM, UIS (2010). Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. 180 p. 30-31, 164-167.

Gobierno Nacional. (2001), Ley 697. Mediante la Cual Se Fomenta El Uso Racional Y Eficiente De La Energía, Se Promueve La Utilización De Energías Alternativas Y Se Dictan Otras Disposiciones. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia. Available from: <http://www.upme.gov.co,81/sgic/?q=content/ley-697-de-2001>

Gobierno Nacional. (2014), Ley 1715. Por Medio De La Cual Se Regula La Integración De Las Energías Renovables No Convencionales Al Sistema Energético Nacional. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia. Available from: [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf).

Gobierno Nacional. (2018), La Estrategia Nacional de Economía Circular. Nuevos modelos de negocio, transformación productiva y cierre de ciclos de materiales. Documento de trabajo en su versión inicial para concertación con todos los actores involucrados.

International Energy Agency. (2015). Making the energy sector more resilient to climate change. COP 21.

Kline, K.L., Oladosu, G.A., Wolfe, A.K., Perlack, R.D., Dale, V.H., McMahon, M. (2008), Biofuel Feedstock Assessment for Selected Countries (No. ORNL/TM-2007/224). Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Special Report for the U.S. Department of Energy. Available from: [http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0802\\_Oak\\_Ridge\\_-\\_Biofuel\\_Feedstock\\_Assessment\\_for\\_Selected\\_Countries.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0802_Oak_Ridge_-_Biofuel_Feedstock_Assessment_for_Selected_Countries.pdf). [Last accessed on 2019 Jun 25]

Gonzalez, M.A., Morini, M., Pinelli, M., Spina, P.R., Venturini, M., Finkenrath, M., Pogonietz, W.R. (2014a), Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. *Applied Energy*, 136, 781-796.

Gonzalez, M.A., Morini, M., Pinelli, M., Spina, P.R., Venturini, M., Finkenrath, M., Pogonietz, W.R. (2014b). Methodology for biomass energy potential estimation, Projections of future potential in Colombia. *Renewable Energy*, 69, 488-505.

González, D., Luna, G., Rivas, E. (2015), Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados con base en la normatividad colombiana y estándares. *IEEE Ingeniería*, 20, 299-315.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015a). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia.

Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia.

IRENA. (2018), Renewable Power Generation Costs in 2017. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Available from: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018\\_summary.pdf?la=en&hash=6A74B8D3F7931DEF00AB88BD3B339CAE180D11C3](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018_summary.pdf?la=en&hash=6A74B8D3F7931DEF00AB88BD3B339CAE180D11C3).

Jimenez, M., Franco, C.J., Dyner, I. (2016), Diffusion of renewable energy technologies, The need for policy in Colombia. *Energy*, 111, 818-829.

McKendry, P.: Energy production from biomass (Part 1): Overview of biomass. *Bioresour. Technol.* 83, 37-46. London , UK

MINMINAS, M. de M. y E., & INERCO. (2016). Diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de riesgos derivados de los impactos asociados al cambio climático y a la variabilidad climática en la industria de hidrocarburos. Bogotá.

Morales Veraz, J., Barceló Sánchez, T., & Hernández Herrera, H. (2017). Alternativas para la revalorización de los efluentes de la de la Empresa Porcina Cienfuegos. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, 2(1), 22-29. Recuperado a partir de <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/83>

Muñoz, Y., Zafra, D., Acevedo, V., Ospino, A. (2014), Analysis of Energy Production with Different Photovoltaic Technologies in the Colombian Geography. In: *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 59, 012012.

Universidad Nacional de Colombia, Colciencias, UPME, Minminas (2018). Herramienta para la valoración y priorización de medidas de adaptación al cambio climático en el sector minero energético colombiano. Medellín

UPME, IDEAM, UIS. (2010), Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Bogotá, Universidad Industrial de Santander (UIS), Unidad de Planeación Minero Energética UPME, IDEAM. Available from: <http://www.upme.gov.co,81/sgic/?q=content/atlas-potencial-energ%C3%A9tico-biomasa-residual-en-colombia-potenciales>.

UPME. (2015b), Integración De Las Energías Renovables No Convencionales En Colombia. Bogotá, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Available from: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf).

UPME. (2017), Balance Energético Colombiano – BECO. Bogotá, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Available from: <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx>.

UPME. (2017a), Sistema de Información Eléctrica Colombiana. Informe Mensual De Variables De Generación Y Del Mercado Eléctrico Colombiano – MARZO DE 2017. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Available from: [http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2017/Informe\\_de\\_variables\\_Mar\\_2017.pdf](http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2017/Informe_de_variables_Mar_2017.pdf).

UPME. (2017b), Evaluar y Proponer Los Criterios Y Características De Los Posibles Desarrollos De Energía De Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos De Acuerdo Con Lo Definido En La Ley 1715 De 2014 Para Ser Catalogados Como FNCER, Considerando El Entorno Del Mercado Eléctrico Colombiano, Aspectos Ambientales, Legales Y Técnicos. Informe Final.

OECD/IEA, (2019). "Global Energy and CO2 Status Report", <https://www.iea.org/geco/>, viewed 25 May 2019.

Olaya, Y., Arango-Aramburo, S., Larsen, E.R. (2016), How capacity mechanisms drive technology choice in power generation, the case of Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 563-571.

Phillips, J.F., Duque, A.J., Yepes, A.P., Cabrera, K.R., García, M.C., Navarrete, D.A., Álvarez, E., Cárdenas, D. (2011), Estimación De Las Reservas Actuales (2010) De Carbón Almacenadas En La Biomasa Aérea En Bosques Naturales De Colombia.

Estratificación, Alometría Y Métodos Analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

REN21(2019). Renewable energy policy network for the 21st century, <http://www.ren21.net/gsr-2019/pages/foreword/foreword/>.

Sistema de Información Eléctrico Colombiano SIEL (2018), Registro de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica. Unidad de Planeación Minero Energética UPME.

Available from:

<http://www.siel.gov.co/Inicio/Generaci%C3%B3n/Inscripci%C3%B3ndeProyectosdeGeneraci%C3%B3n/tabid/113/Default.aspx?PageContentID=1201>.

Tchobanoglous et al., (1998). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw Hill. Volumen II, 1107. 766-767