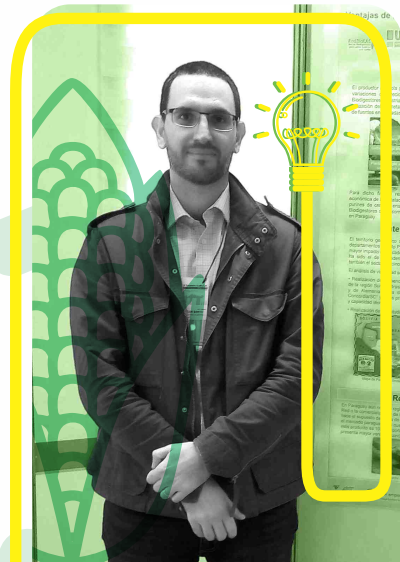


“Viabilidad Técnica y Económica de la Utilización de Biodigestores como complemento para el Sector Agroindustrial Paraguayo”



Código PINV 15-949

(Universidad Paraguayo Alemana - UPA)

Ing. Agr. MBA Juan Pablo Dos Santos Miranda
Director del Proyecto e Investigador Principal

(Universidad Paraguayo Alemana - UPA)

Dr. Augustinus Van Der Krogt
Investigador Senior

(SNV Latinoamérica)











Horacio Barrancos Bellot
Investigador Asociado











(SRH Heidelberg)

Barbara Sprick
Investigadora Asociada



INDICE

 "Viabilidad Técnica y Económica de la Utilización de Biodigestores como Complemento para el Sector Agroindustrial Paraguayo". Código PINV 15-949	Página
 Modalidad de Trabajo.	5
 Equipo.	
 Objetivo General del Proyecto.	
 Objetivos Específicos del Proyecto.	6
 Encuadramiento.	
 Bibliografía.	7
 Bibliografía Relacionada.	
 Metodología de Investigación.	9
 Relevancia de la Propuesta de Investigación.	10

 "Biodigestores como complemento de la cadena productiva de la soja en Paraguay, estudio de pre-factibilidad técnica y económica".	Página
 RESUMEN.	12
 INTRODUCCIÓN.	14
 METODOLOGÍA.	15
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	16
 Marco Legal y Mercado Energético para fuentes renovables en Paraguay.	
 Consideraciones para la producción de Biogás con distintos Sustratos.	
 ESCENARIO 1: PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON ESTIÉRCOL DE CERDO Y AHORRO DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL BIOMETANO.	18
 ESCENARIO 2: ESTIÉRCOL DE CERDO + ENSILAJE DE MAÍZ.	21
 ESCENARIO 3: ESTIÉRCOL DE CERDO + GRANOS DE TRIGO.	23



INDICE



AHORRO DE FERTILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE SOJA, TRIGO Y MAÍZ
(SEGÚN ESCENARIO 1).

24



CONCLUSIONES.

28



BIBLIOGRAFÍA.

31



“Potencial de producción energética a partir del biogás de residuos agroindustriales en Paraguay”.

Página



RESUMEN.

34



INTRODUCCIÓN.



METODOLOGÍA.

35



RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

36



CONCLUSIONES.

39



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.



ANEXOS.

Página



Calculadora de Biogás.

41



"Viabilidad Técnica y Económica de la Utilización de Biodigestores como Complemento para el Sector Agroindustrial Paraguayo" | Código PINV 15-949

Modalidad de trabajo:

Modalidad PROYECTOS ASOCIATIVOS, siendo la Universidad Paraguayo Alemana (UPA) la Institución proponente, asociándose con los siguientes participantes:

- **Asociado 1:** Unión Industrial Paraguaya (UIP)
- **Asociado 2:** SRH Holding Heidelberg - Universität zu Heidelberg
- **Asociado 3:** SNV Worldwide

Esta asociación se ha formado como alianza internacional entre organizaciones reconocidas en la temática del desarrollo de proyectos de implementación de Biodigestores y utilización de las TIC's en el sector de agronegocios. El aporte de cada uno de los asociados es el de desarrollar una investigación de alta calidad académica y al mismo tiempo con una relevancia practica para el sector agroindustrial en el Paraguay. En esta alianza los socios contribuyeron de la siguiente manera:

- La UPA, a través de sus investigadores, contribuyen con su más de 25 años de experiencia en la aplicación de las TIC en el sector agroindustrial en países en vías de desarrollo y experiencia en investigación sobre la utilización de Biodigestores en el Paraguay;
- De su lado, la Universidad de Heidelberg contribuyó con su amplio conocimiento de las potenciales aplicaciones y sistemas TIC relevantes para el sector industrial;
- SNV proveyó un extenso conocimiento y vasta experiencia en la ejecución de proyectos de Energías Renovables -especialmente producción de Biogás a partir de sustratos provenientes del sector agropecuario- y los desafíos de la adopción de tecnologías en este sector en América Latina.
- Finalmente, la UIP contribuyó con su red de empresas en el Paraguay para asegurar que la investigación cuente con la cooperación de los actores del sector agroindustrial y que la investigación se base en los desafíos de este sector.

Esta misma red permitirá lograr una amplia difusión de los resultados y lecciones aprendidas al sector.

Equipo:

- **Director del Proyecto e Investigador Principal:** Ing. Agr. MBA Juan Pablo Dos Santos Miranda
(Universidad Paraguayo Alemana – UPA)
- **Investigador Senior:** Dr. Augustinus Van Der Krogt (Universidad Paraguayo Alemana – UPA)
- **Investigador Asociado:** Horacio Barrancos Bellot (SNV Latinoamerica)
- **Investigador Asociado:** Barbara Sprick (SRH Heidelberg)

Objetivo General del Proyecto

Realizar un estudio de los principales rubros agroindustriales del Paraguay para la elaboración de un modelo de viabilidad técnico-económico con sus indicadores, con el fin de sustentar Biodigestores como complemento de la producción

"Este Proyecto es cofinanciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT con recursos del FEEL"



Objetivos Específicos del Proyecto

- Ampliar la gama de información respecto a la utilización de Biodigestores en el Paraguay, conjuntamente con la provisión de datos específicos para su utilización como herramienta que complemente la producción agroindustrial en rubros específicos, haciendo énfasis en los más preponderantes de la producción nacional.
- Paralelamente, desarrollar un modelo de cálculo base para la incorporación de tecnologías MDL, de manera a ampliar la capacidad del sector para incorporarse en el estatus de desarrollo de tecnologías limpias autofinanciables, y al mismo tiempo
- Acompañar el aumento de la capacidad del sector para proveer soluciones socio-ambientales efectivas.

Encuadramiento del Proyecto

El proyecto se encuadra dentro del Sector "Energías limpias y renovables", ya que pretendió aportar nuevas informaciones sobre los sustratos del sector agroindustrial paraguayo, disponibles para su utilización en Biodigestores, promoviendo las bondades de invertir en tecnología limpia. Asimismo, se pretende fomentar el aprovechamiento de los desechos orgánicos abundantes en el Paraguay para abaratar costos, generar ganancias adicionales y solucionar externalidades ambientales.



Adicionalmente, el proyecto pretende facilitar el acceso al cálculo de rentabilidad con la utilización de Biodigestores, a través de la elaboración de un modelo de cálculo sencillo y práctico, que ofrezca rápidamente los resultados deseados.

Especificación del Proyecto

En 2011, en la Facultad (Hochschule) Weihenstephan-Triesdorf de Alemania, la tesis de Masterado en Administración Agropecuaria (MBA) de Dos Santos (2011), denominada Technische und -wirtschaftliche Betrachtung der Gasaufbereitung und -nutzung, anhand drei unterschiedlicher Biogaskonzepte, in Paraguay (Análisis de Rentabilidad de tres Conceptos de Plantas de Biogás en Paraguay: Potencial y Oportunidades para el desarrollo de nuevos Sectores Económicos) comprueba la factibilidad económica de utilizar tres modelos de Biodigestores a través del procesamiento de tres sustratos específicos: Ensilaje de Maíz, Residuos Orgánicos de Frigoríficos (Contenido Ruminal y Cortes de Grasa) y Basura Orgánica, todos con una base principal de estiércol vacuno.

A partir de ellos se han establecido Sub-Objetivos, además del Análisis de Costos ya mencionado: la óptima Combinación de los Sustratos propuestos, la Técnica y la Tecnología apropiadas y la contribución a los Suministros de Energía.

La investigación ha tenido en cuenta al Gas como Producto final. Para los tres Conceptos se ha calculado como base, una potencia media de 500 kW/año. Los resultados fueron los siguientes:


El primer Concepto ha logrado un Rendimiento de 833.333 kg de Gas Natural por año y una Tasa


Interna de Retorno del 13,94%, el segundo Concepto logró 747.218 kg de Gas Natural al año y 9,7% de rentabilidad total del capital correspondientemente, y el tercer concepto dio un resultado de 726.082 Kg/año y 9,76% de rentabilidad sobre el capital total.

El fomento de la utilización de Biodigestores en el sector agroindustrial paraguayo resultaría sumamente interesante, debido a la capacidad de aprovechar al máximo los residuos orgánicos, transformándolos en energía: Biogás o Electricidad. En segundo lugar, el sustrato resultante de la "digestión", es un fertilizante natural de alto valor orgánico.

Pór último, los Biodigestores se ajustan dentro de los parámetros de proyectos MDL, que evitan emisiones de CO₂ al mediambiente, sujetas de calificar dentro del marco del Protocolo de Kyoto y que pueden comercializar los CERs (Emisiones reducidas - bonos de carbono). Dentro de dicho marco, se pretende dar continuidad a esta investigación, realizando un estudio más acabado sobre el potencial total del sector agroindustrial paraguayo -incluyendo otros sustratos como granos de Trigo y Soja, subproductos de la producción azucarera (vinaza, melaza de la caña de azúcar), producción de cerdo y pollos parrilleros, producción de leche-

Una vez tenido el bagaje de datos necesarios, se pasará a las siguientes etapas, las cuales consistirán en:

 1) preparar un material informativo técnico donde se demostrará la eficiencia de los Biodigestores en la producción de energía limpia (Biogás y energía eléctrica) a través de la cogeneración (aprovechamiento de los residuos orgánicos) y

 2) desarrollar un modelo de cálculo (sistema web) para determinar de manera sencilla y rápida la factibilidad técnica y económica de la utilización de Biodigestores, a través del cálculo de la producción de biogás (m³/año) y a la estimación de la generación de energía eléctrica (kWh), que pueden obtenerse de la combustión de biogás. Al final se tendrá la información pertinente para demostrar la conveniencia de llevar a cabo inversiones de este tipo, por sus bondades económicas y ambientales, las cuales serán debidamente difundidas en los ámbitos pertinentes.

Bibliografía:

*DOS SANTOS, J. 2011. Technische und -wirtschaftliche Betrachtung der Gasaufbereitung und -nutzung, anhand drei unterschiedlicher Biogaskonzepte, in Paraguay.

*Schattauer, A., 2002: Biogasgewinnung und -nutzung- Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse *Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Handreichung Biogasgewinnung und- Nutzung., 2004

Bibliografía relacionada:

El consumo de energía en el Paraguay se basa en energías renovables (67%), que es el índice más alto en Sudamérica y el Caribe. De este porcentaje, el 14% corresponde a hidroelectricidad y el 53% a biomasa, aunque el suministro de una fracción significativa de la biomasa está basado parcialmente en una explotación no sustentable de los bosques, con lo cual su renovabilidad no se estaría cumpliendo. El problema más grande hasta ahora es que el Paraguay no cuenta con una adecuada evaluación del potencial de sus energías renovables. Se recomienda el desarrollo de una metodología de actualización periódica de parámetros para energías renovables. La mayor importancia entre las energías renovables en el Paraguay recaen en la biomasa, con un porcentaje de más del 50% en la demanda de energía primaria.

El aprovechamiento de la biomasa se divide en el uso sólido, líquido y gaseoso de los productos. La

gran ventaja es que todos los tipos de biomasa pueden ser aprovechados. Su producción puede ser implementada en grandes sectores industriales, que podrían reemplazar al gas natural, o en pequeños sectores residenciales, para reemplazar a la leña para cocinar.

El biogás puede ser aprovechado para provisión de energía térmica, por ejemplo para cocción de alimentos o para provisión de energía eléctrica mediante la introducción del mismo en un generador de energía eléctrica. También el uso en calefacción y electricidad es posible y en Europa es muy popular (GIZ, 2011) Entre los principales sustratos que pueden ser aprovechados para la producción de Biogás se encuentran:

Maíz y otras oleaginosas.

Subproductos de la producción de azúcar (melaza, vinaza).

Subproductos del procesamiento de frutas y verduras.

Restos orgánicos domésticos.

Restos del procesamiento de carnes (frigoríficos). (Weiland, P., 2000: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gulzoer Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial; S. 8-27; Weimar. Citado en: DOS SANTOS, J. 2011. Technische und -wirtschaftliche Betrachtung der Gasaufbereitung und –nutzung, anhand drei unterschiedlicher Biogaskonzepte, in Paraguay)

Además, el sub-producto de la digestión anaeróbica posee un importante valor energético, con el fin de ser utilizado como fertilizante para el suelo. Este fertilizante tiene un costo cero, y puede ser comercializado o utilizado con el fin de ahorrar costos. (Lucke, Irina., 2002: Biogas, Die Regenerative Energie der Zukunft?. Citado en: DOS SANTOS, J. 2011. Technische und -wirtschaftliche Betrachtung der Gasaufbereitung und –nutzung, anhand drei unterschiedlicher Biogaskonzepte, in Paraguay)

Perspectivas: el Paraguay es un país con bajo desarrollo en esta fuente de energía, lo cual se debe, principalmente, al exceso de energía proveniente de las hidroeléctricas. Si bien esto no justifica que los pobladores no hayan realizado demasiados esfuerzos por explorar el uso de estas tecnologías, quizá se vuelva una necesidad debido a tres factores principales:

- a) Existen zonas del país donde no existe provisión de energía.
- b) La base de la economía paraguaya es eminentemente agropecuaria, por lo que el país genera gran cantidad de residuos proveniente de este sector.

c) Existe una ventaja aparente, aún no difundida suficientemente en el país, que son los incentivos provenientes del Mecanismo de Desarrollo Limpio, generado a partir de la firma del Protocolo de Kyoto. Los países en vías de desarrollo como el Paraguay pueden reducir sus emisiones mediante la inclusión de estas nuevas tecnologías y vender así sus créditos de carbono a nivel internacional. Las políticas específicas del Sector Energía son establecidas por el VMME del MOPC de acuerdo con la Ley N.º 167 del 25 de mayo de 1993 "Que establece la estructura orgánica y funciones del Ministerio de Obras y Públicas y Comunicaciones (MOPC)", que tiene a su



cargo "Establecer y orientar la política referente al uso y el manejo de los recursos minerales y energéticos" (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2011: Situación de Energías Renovables en el Paraguay).

Actualmente está en estudio un proyecto de ley "Que Fomenta la Generación de Energía eléctrica a partir de Fuentes Renovables no Convencionales y Regímenes Especiales" que presentaron los Senadores Fernando Silva Facetti, Arnoldo Wiens y Arnaldo Giuzzio en junio de 2014.

Metodología de Investigación

1. En la primera fase se llevó a cabo una recopilación de datos acerca del potencial actual del sector agroindustrial paraguayo, en cuanto a la cantidad de la biomasa generada y su calidad, para el sustento de proyectos de producción de Biogás.

a. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica con la información existente.

b. Se determinó un curso de acción para afrontar los desafíos que se presenten de acuerdo al flujo de información recabada, teniendo en cuenta los propósitos establecidos previamente para su solidificación como propuesta de convergencia para el sector agroindustrial.

c. Se generará información adicional a partir de los datos obtenidos, a través de encuestas realizadas a actores clave en los diferentes procesos productivos.

2. En la segunda fase, se llevó a cabo el desarrollo de un Modelo Base de Medición Técnica y Económica para la implementación de proyectos de Biodigestores a partir de la biomasa generada en las distintas etapas de la producción agroindustrial.

a. Se tomó como punto de partida los datos obtenidos en la primera fase, complementándolos con técnicas de medición existentes para la determinación del potencial energético contenido en cada componente agroindustrial.

b. Se exploró el campo de acción para cada sustrato, exponiendo luego el curso a seguir para la implementación del proyecto de acuerdo a cada contexto.

c. Se exponen los resultados finales luego de la realización de un cálculo base, tomando los datos primarios y combinándolos con los sucesivos procesos adaptados a cada contexto en particular –de acuerdo a cada sustrato).

d. Los resultados finales están sujetos a una interpretación en particular, dando como resultado la rentabilidad del proceso, su capacidad de implementación, el estudio de la capacidad técnica, el aumento de la probabilidad del proceso en cuanto a la reducción de emisiones de CO₂, la adaptación del proceso a situaciones de riesgo, el estudio del sector en cuanto a su capacidad de sostener este tipo de proyectos.

3. En la tercera etapa se fomentará la aplicabilidad del proceso en empresas del sector agroindustrial.

a. Se expusieron los resultados en charlas y debates técnicos.

b. Se analizaron las posibilidades de implementación masiva del proyecto, invitando a representantes del Gobierno (Viceministerio de Minas y Energía) a exponer sobre la situación y sostener



un diálogo sobre los modelos de acción posibles a seguir.

- c. Se realizó un encuentro entre expertos nacionales en energías renovables, para actualizar la información y aumentar el nivel de participación de empresas en proyectos de este tipo.
- d. Se demostró la aplicabilidad del Modelo de Medición en distintas etapas e instancias de promoción: en la Universidad, en ponencias, en revistas técnicas y páginas web relacionadas.
- e. Se preparó un material técnico explicativo y demostrativo, especialmente desarrollado para la mejor comprensión de los procesos implicados en el proyecto, y sustentar la viabilidad del mismo en cuanto a su complementariedad con el sector agroindustrial paraguayo.
- f. Se analizarán posibilidades del impacto económico probable de la combinación de proyectos de producción de biogás con el proceso productivo del complejo Soja-Maíz-Trigo especialmente, debido a su importancia en el Paraguay. Esta combinación será estudiada a través del Modelo de Medición, el cual intentará comprobar la conveniencia de esta sinergia.

Para asegurar una alta calidad académica, en cada fase de la investigación se contó con dos investigadores del equipo que colaboraron en el diseño teórico y práctico, combinando áreas de conocimiento y experiencia complementaria.

Relevancia de la propuesta de Investigación

1. Dimensión Científica: con la investigación se logrará un bagaje importante de información aun no explorada, debido a que aún no se cuenta con un sustento teórico-práctico sobre la aplicabilidad de modelos técnico-económicos para el sustento de proyectos de producción de Biogás a partir de sustratos y sub-productos que son abundantes en el sector agroindustrial paraguayo.

Esto forjará una importante actualización de la información y notará la falta de implementación de políticas

más concretas sobre el estudio de este tipo de tecnologías para el mejoramiento de la calidad de vida de los paraguayos, a través de la apertura a posibilidades aún inexploradas como la implementación de modelos de producción adaptados a las condiciones de proyectos incluidos en el "Mecanismo de Desarrollo Limpio", generado a partir de la firma del Protocolo de Kyoto.

2. Dimensión Social: se notará la diferencia de ampliar el estudio de este tipo de proyectos, ya que hoy en día la sociedad espera una mayor inversión social en sectores productivos contaminantes que exponen la fragilidad de las políticas públicas al respecto. No podrán alcanzarse objetivos a largo plazo si hoy no se inician políticas serias que sobre todo sean sustentables económicamente, ya que el Estado paraguayo no posee capacidad suficiente para el control eficaz del ciclo de producción de todos los eslabones del proceso productivo.

Para eso, los proyectos de Biodigestores apoyan la gestión social, logrando un alto impacto positivo en las regiones donde se instalan, desarrollando la conciencia de la producción limpia y sostenible, exponiendo las diferencias entre modelos de producción tradicionales y renovables, y sustentando sus bondades con resultados notorios que producen en la población un apoyo estable.

3. Dimensión Contemporánea: la fragilidad de la implementación de políticas públicas referentes al contexto ambiental en Paraguay, ha denotado una falta de control del proceso de producción de distintos rubros y sectores. No hay aún un impulso notable en cuanto a la implementación de proyectos que puedan sustentarse tanto legal como políticamente, así como en el tiempo y en lo financiero.

Es por eso que la promoción de la implementación de proyectos con Biodigestores resulta beneficioso para iniciar una nueva exploración sobre las posibilidades de aprovechamiento de los

recursos naturales con que se cuenta en Paraguay. El aprovechamiento actual de la biomasa se reduce simplemente a una quema de leña y carbón, lo cual, complica el trabajo de reducción de la tala de bosques nativos y promueve la disolución de controles al respecto. Además, no existe aún una reglamentación que promueva el uso de energías renovables en la industria, lo cual podría ser beneficioso no solo por sus consecuencias ambientales positivas sino también por su posible impulso para la industria, en cuanto al impulso que se podría dar a la producción de nuevas tecnologías de desarrollo limpio en Paraguay, fomentando la especialización en técnicas sustentables y acciones para la actualización de las formas de producción implementadas en los distintos eslabones agroindustriales.



"La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo del CONACYT. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión del CONACYT".

Biodigestores como complemento de la cadena productiva de la soja en Paraguay, estudio de pre-factibilidad técnica y económica

Biodigesters as a complement to the soybean production chain in Paraguay, technical and economic pre-feasibility study

Juan Pablo Dos Santos Miranda^{(1)*}, Stijn Van der Krogt⁽²⁾, Ayrton Portillo⁽³⁾

(1, 2, 3) Universidad Paraguayo Alemana (UPA). Lope de Vega 1279 esq. Atilio Galfre, San Lorenzo, Paraguay.

(*) juan.dossantos@upa.edu.py

RESUMEN:

El presente estudio es financiado por el programa PROCIENCIA, de la CONACYT¹. Utilizando los datos del "Proyecto Concordia-SC" - Brasil y KTBL de Alemania, se plantearon 3 escenarios para la determinación de la pre-factibilidad técnica y económica. Escenario 1 (producción de biogás a partir de estiércol de cerdo para producción de Biometano y Biol) obteniendo: TIR 25,8%, VPN US\$ 7.650.685, Payback 9 años, obteniéndose un ahorro total de US\$ 395.160 anuales en fertilización; escenario 2 (producción de biogás a partir de estiércol de cerdo y ensilaje de maíz) TIR 31,7%, VPN US\$ 13.717.654, Payback 6,6 años; escenario 3 (producción de biogás a partir de estiércol de cerdo y granos de trigo) TIR 27,2%, VPN US\$ 10.169.903, Payback 7,6 años. De

esta forma los resultados denotaron una complementación positiva con la producción agropecuaria en Paraguay: la inclusión de Biodigestores Industriales en la cadena productiva del complejo soja puede apoyar a la obtención de mayor rentabilidad al productor, al tiempo de disminuir el riesgo al que se expone.

Palabras clave: Biogás, Paraguay, Estiércol de Cerdo, Biometano, Viabilidad.

¹ Proyecto PINV 15-949, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Paraguay.



SUMMARY:

This study is funded by the PROCIENCIA program of CONACYT [Project PINV15-949, National Council of Science and Technology of Paraguay.]. Using the data of the "Project Concordia-SC" - Brazil and KTBL of Germany, 3 scenarios were proposed for the determination of technical and economic pre-feasibility. Scenario 1 (production of biogas from pig manure for production of Biomethane and Bio) obtaining: IRR 25.8%, NPV US \$ 7,650,685, Payback 9 years, obtaining a total saving of US \$ 395,160 annually in fertilization; scenario 2 (production of biogas from pig manure and corn silage) TIR 31.7%, NPV US \$ 13,717,654, Payback 6.6 years; scenario 3 (production of biogas from pig manure and wheat grains) TIR 27.2%, NPV US \$ 10,169,903, Payback 7.6 years. Thereby, the results showed a positive complementation with agricultural production in Paraguay: the inclusion of Industrial Biodigesters in the soybean production chain can help obtaining greater profitability for the producers, while reducing risks.

Keywords: Biogas, Paraguay, Pig Manure, Biomethane, Viability.





1. INTRODUCCIÓN

El sector primario en el Paraguay es el principal motor de la economía paraguaya, destacándose principalmente la producción agrícola con la soja, y la producción pecuaria con la carne bovina. El complejo soja paraguayo², desde 1993 a 2016, tuvo un incremento de 5, 11 y 3 veces más en la producción de soja, maíz y trigo respectivamente³. Por su parte, la industria de la carne bovina es el segundo sector más importante en ingresos por exportaciones del país, representando el 12,1% del PIB⁴. La producción de carne porcina por su parte ha registrado un crecimiento sostenido, contando hoy en día con una población de 1.300.064 cabezas⁵.

El principal ingreso del productor agrícola dedicado a la soja es justamente la venta del grano en bruto, estando sometido a las reglas del mercado internacional con precios volátiles y costos operativos altamente sensibles. En esto último influye mucho el precio del petróleo -relación directa con el diésel y fertilizantes minerales-. Con las consecuencias del cambio climático, el productor se ve en riesgo constante de perder cosechas, ocurriendo pérdidas considerables de forma regular. Al mismo tiempo, la demanda energética en Paraguay ha ido en aumento debido a la instalación progresiva de nuevas industrias, tal es así que el Gobierno ha realizado estudios para la diversificación de la matriz energética, de lo cual resultó que, según la ANDE (2017)⁶, en el 2025 -si no se toman las medidas correspondientes- habrá un déficit en el sector energético.

Todo lo mencionado significa una oportunidad para la generación de energía e ingresos económicos con la utilización de los residuos agropecuarios y los cultivos energéticos en complemento con Biodigestores Industriales. La producción de Biogás no es habitual en Paraguay y se carece de información para su implementación (GIZ, 2011), sin embargo, existen algunos proyectos de producción de biogás, como el caso de la Granja Bertín S.A. (producción de 640m³ de Biogás por día) y la Granja San Bernardo (1.000m³ de Biogás por día).

² Cadena productiva de semilla, harina y aceite a partir de soja, maíz y trigo.

³ CAPECO, 2016.

⁴ ARP, 2017.

⁵ IICA, 2018

⁶ Administración Nacional de Energía y Electricidad del Paraguay, Institución autárquica, descentralizada de la Administración Pública, de duración ilimitada, con personería jurídica y patrimonio propio.

En Brasil, sobre todo en la región Sur (Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul) se desarrollan con éxito proyectos de producción de biogás en el sector agropecuario y, siendo esta zona cercana al Paraguay, sería factible utilizar las experiencias adquiridas para realizar cálculos de viabilidad. Por lo tanto, esta investigación busca generar información para fomentar el uso de los Biodigestores como complemento para el sector agropecuario paraguayo.



2. METODOLOGÍA

El territorio geográfico del estudio fue Paraguay, enfocándose en los departamentos de Alto Paraná, Itapúa, Canindeyú y Caaguazú, ya que estos son los sitios donde se desarrolla principalmente el complejo soja. El universo estudiado ha sido el de la cadena de producción de soja, trigo, maíz, como también el del sector porcino (asociado al complejo soja por el consumo de balanceados alimenticios). Además se analizaron tecnologías para la purificación del biogás (upgrading) y Fertilizantes generados a partir del Biol.

El análisis de viabilidad se realizó tomando los siguientes pasos:

1. Realización de un benchmarking del modelo de producción Biodigestores de la región Sur del Brasil, con el propósito de extraer aprendizajes relevantes para este estudio.
2. Realización de un estudio del mercado energético y agropecuario paraguayo.
3. Determinación de los costos de inversión y operacionales para la planta de producción de Biogás según especificaciones de datos obtenidos del Proyecto Concordia/SC⁷.
4. Estimación de indicadores financieros para evaluar económicamente el proyecto y entregar valores relevantes.

⁷ DESENVOLVIMENTO DE UM ANTEPROJETO PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA MODELO DE PESQUISA E CAPACITAÇÃO DE BIOGÁS NA REGIÃO DE CONCÓRDIA/SC, Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades, e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ).



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MARCO LEGAL Y MERCADO ENERGÉTICO PARA FUENTES RENOVABLES EN PARAGUAY.

En Paraguay se encuentra en tratamiento la "Ley de Energías Renovables No Convencionales y sus Regímenes Especiales". El objeto de la Ley se fundamenta en aprovechar el potencial que tiene nuestro país para la producción de energías renovables, impulsar la soberanía energética, maximizar la transmisión y mejorar el servicio de distribución de la energía eléctrica, además de promover la sustitución de la leña de los bosques y el combustible fósil importado, así como la protección del ambiente (APER, 2017). Sin embargo, la misma recibió el veto del Poder Ejecutivo en octubre de 2017 y volverá a ser debatida en plenaria del Senado en el 2019.

Por lo tanto este estudio no se concentró en analizar la producción de energía eléctrica a partir del biogás, sino que a fin de estimar las ganancias se tomó el precio del gas doméstico del mercado paraguayo para calcular el ahorro potencial del diésel que se utilizaría en un tractor, si es que éste fuese sustituido por el Biometano para las labores agrícolas consideradas.

3.2. CONSIDERACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON DISTINTOS SUSTRATOS.

Se presentan distintos escenarios de determinación de viabilidad técnica y económica a partir de la producción del biogás y el biol por medio de la utilización de sustratos del medio agropecuario. El primer escenario propone la alimentación de un Biodigestor estrictamente con estiércol de cerdo, el segundo escenario combina el estiércol con ensilaje de maíz, y el tercero realiza la combinación del mismo estiércol con granos de trigo. En el último sub-capítulo se expone el probable ahorro en fertilización de soja, trigo y maíz, que se lograría con la utilización del biol producido en el primer escenario.

El objetivo de estos modelos es que pueda sustituir hasta cierto grado la utilización del diésel de las labores culturales agrícolas con el biometano, por lo cual es necesario que el Biodigestor se encuentre en una zona cercana a centros de producción de cerdo y de cultivos agrícolas del complejo soja, asociados a la producción de balanceados para la alimentación de cerdos.

Asimismo, la cercanía a los cultivos agrícolas será necesaria para el transporte y aplicación del biol a los campos, a través de tractores movidos a biometano, los cuales deberán ser adquiridos a fin de que esta propuesta pueda funcionar. Para dicho fin, en el cálculo de viabilidad se tiene en cuenta el costo de instalación de una estación de carga de combustible. También debería contemplarse una eventual adaptación de equipamientos para la aplicación del biol en forma líquida, aunque esta tecnología se encuentra disponible en el mercado paraguayo y la mayoría de los equipos son de común utilización.

Para la viabilidad económica, en todos los escenarios se contempló un plazo de 20 años de vida del proyecto, 5% de tasa de descuento y un préstamo de US\$ 2 millones.

La tecnología utilizada es la del Proyecto Concordia (SC). El sistema de digestión estándar fue el sistema continuo (CSTR, Continuously Stirrer Tank Reactor) trabajando con sistema mesofílico, donde la temperatura interna del reactor puede variar entre 35-40°C. La opción del digestor fue el tanque cilíndrico, con cuerpo metálico y acabado esmaltado interno, aislamiento térmico externo, sistema de calefacción interna vía serpentinas y cubierta metálica y rígida. Para mejorar la calidad del gas y también contribuir al buen funcionamiento y durabilidad de los equipos y del motor generador de energía, se considera un proceso de desulfurización para eliminar el H₂S del biogás.

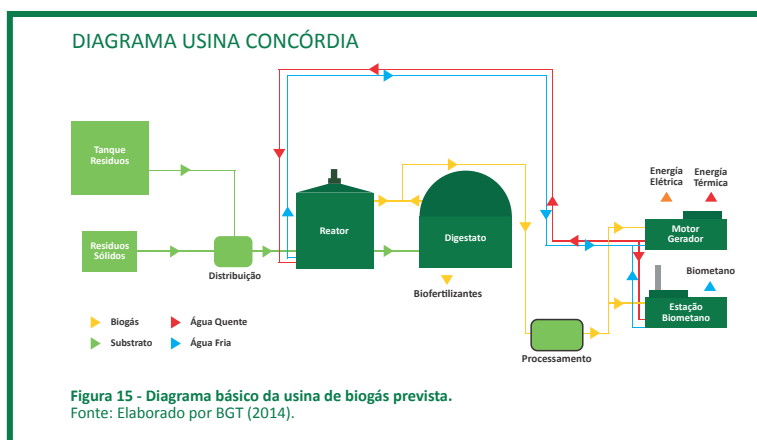


Figura 1. Diagrama básico de la Planta de Biogás del Proyecto Concordia/SC.
Fuente: PROBIOGÁS (2015).

3.2.1. ESCENARIO 1: PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON ESTIÉRCOL DE CERDO Y AHORRO DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL BIOMETANO.

En este escenario la producción del biogás se calculó a partir del estiércol producido de 25.000 cerdos de engorde por año, de uno o varios establecimientos.

El cálculo del precio de venta del fertilizante arrojó un precio de venta considerado en US\$ 3,6 por tonelada en base húmeda, teniendo en cuenta los nutrientes contenidos y el precio de mercado del Nitrógeno, Fósforo y Potasio.



Costos asociados a la producción de Biometano.

Es necesario adicionar un costo de "upgrading" o purificación del biogás para producir biometano. En el proceso de valorización del biogás para obtener el biometano el objetivo principal es eliminar el CO₂ que transporta el biogás.

Existen distintos métodos empleados industrialmente para la purificación. Las técnicas más extendidas en Europa son la absorción física, la adsorción mediante sistemas PSA (Pressure Swing Adsorption), la absorción química y la separación con membranas (García Sánchez, 2016).

Para una Planta de biometanización con capacidad de 250 Nm³ h⁻¹, se presentan los siguientes datos⁸:

Tabla 1. costos de upgrading según distintas tecnologías

Tecnología	Inversión total	Costos operativos
Absorción con Agua	US\$ 1.316.750	de 0,011 US\$ kWh
Absorción química	US\$ 974.510	0,013 US\$ kWh
Membranas	5.635 US\$ por Nm ³ h ⁻¹ biometano	0,008 - 0,013 US\$ kWh

Fuente: Mitschke (2016).

⁸ Asumiendo un contenido de biometano de 65 Vol. % en el biogás crudo y un 5% de pérdidas la absorción con agua - 2% de pérdidas para el lavado amino.

En este estudio se prefirió utilizar la tecnología de Absorción con Agua, por presentar los costos operativos más bajos, además de ser de simple aplicación y mantenimiento. De esta forma, los resultados del análisis económico arrojaron:

Tabla 2. Resultados económicos Escenario 1

Sustrato (toneladas base húmeda)	75.000	Tractor a Biometano (US\$)	150.000	Ganancia neta anual (US\$)	760.541
Costos civiles y equipo electromecánico (US\$)	1.541.762	Costos variables anuales (US\$)	280.623	TIR	25,8%
Tecnología de Absorción con Agua 250 Nm ³ .h ⁻¹ (US\$)	1.316.750	Gas m ³	2.145.000	VPN (US\$)	7.650.685
Estación de carga para vehículos (US\$)	285.938	Biometano m ³	1.231.230	Payback	9 años

Fuente: elaboración propia

El costo total de este modelo es de US\$ 4.502.135, sin embargo es posible estimar una reducción de hasta 30% de los costos según cada caso, ya que cada proyecto es único y pueden existir materiales e infraestructura que abaraten mucho la inversión inicial. Sin embargo la tecnología debe ser mayormente importada, preferentemente de Alemania, país en el que más se ha desarrollado la producción industrial del biogás. De cualquier forma, según los cálculos el proyecto demuestra ser rentable. Esta Planta de Biogás tiene un potencial de generación de 500 kW.

· **Cálculo de sustitución del diésel con biometano.**

A fin de determinar el ahorro en diésel, se calculó primeramente el costo por hectárea de mecanización por rubro considerado. Los datos fueron obtenidos a partir de informes del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Paraguay. Seguidamente, las horas de tractor necesarias se determinaron sumando las labores de mecanización.

	<u>Soja</u>	<u>Maíz</u>	<u>Trigo</u>
● Costo total de diésel por ha enUS\$	461	427	418
● Total de horas necesarias de tractor por ha	2,5	5,75	5,8

· **Datos técnicos del tractor a biometano: Especificaciones dadas por la marca VALTRA⁹.**

A modo de ejemplo se presenta el caso de los tractores Valtra Dual Fuel. Los mismos pueden funcionar con gas natural, con biogás adaptado a vehículos o con gasoil. En los tractores Valtra Dual Fuel el motor diésel normal AGCO POWER se transforma para usar dos tipos de combustible. La mayor parte de la potencia -hasta el 83%- se genera por medio de metano procedente de gas natural o de biogás refinado y el resto por medio de combustible diésel para provocar la ignición de la mezcla gas-aire según el ciclo diésel.

El contenido en metano del gas natural vehicular debería ser de un 95 % (+/- 2 %). Para cumplir los requisitos de la homologación de tipo se requieren combustibles con calidades estandarizadas.

- Capacidad volumen depósito de combustible: 192 litros a una presión de hasta 200 bar (equivalente a 35 litros de combustible diesel).
- Rendimiento: 4 horas de uso.
- Consumo por hora: 48 m³ biometano por hora

Con estos datos se calculó el ahorro probable de diésel por rubro:

Tabla 3. Ahorro estimado de combustible para tractor, sustituyendo con Biometano.

	Soja	Maíz	Trigo
Hectáreas por año y rubro	2.565	1.115	1.106
Ahorro por año (US\$)	264.201	197.398	184.640

Fuente: elaboración propia

⁹ Valtra, 2017.

El mayor ahorro se produce en el cultivo de soja –debido a la mayor necesidad de mecanización–, por lo tanto, se justifica la utilización del biometano en este rubro por sobre los demás, además de que la soja presenta mejores precios de mercado y por lo tanto aporta mayor renta al productor.

3.2.2. ESCENARIO 2: ESTIÉRCOL DE CERDO + ENSILAJE DE MAÍZ.

En este escenario se mantiene la misma estructura de costos y tecnología, combinando el Ensilaje de Maíz con estiércol producido a partir de 5.000 cerdos. Se completa la carga energética con la adición del rendimiento de 32 hectáreas de Ensilaje de Maíz para la digestión, con lo cual se alcanzaría una potencia del 1.000 kW. El rendimiento promedio de la masa verde del maíz se estimó en 45 toneladas por hectárea. El cálculo del precio de venta del fertilizante arrojó un precio de venta considerado en US\$ 4,2 por tonelada en base húmeda.

Tabla 4. Resultados económicos Escenario 2

Sustrato (toneladas base húmeda)	29.324	Tractor a Biometano (US\$)	150.000	Ganancia neta anual (US\$)	1.202.408
Costos civiles y equipo electromecánico (US\$)	2.640.896	Costos variables anuales (US\$)	398.944	TIR	31,7%
Tecnología de Absorción con Agua 250 Nm ³ .h ⁻¹ (US\$)	1.316.750	Gas m ³	3.999.083	VPN (US\$)	13.717.654
Estación de carga para vehículos (US\$)	285.938	Biometano m ³	2.295.474	Payback	6,6 años

Fuente: elaboración propia

El costo total de este modelo es de US\$ 5.839.515 (23% más que el modelo anterior), sin embargo, debido a la mayor capacidad de generación energética también se reduce el plazo de recuperación del capital y aumenta la rentabilidad. Este modelo resulta interesante porque representa una alternativa al productor agrícola, ya que, como se verá en el siguiente análisis, difícilmente el maíz genera una rentabilidad satisfactoria al productor debido a los precios y los bajos rendimientos promedio nacionales.

- **Costo de oportunidad de la venta de grano de maíz versus producción de biogás.**

Se utilizó la ganancia neta anual para calcular la ganancia total de la producción de biogás,

manteniendo los datos anteriores de costos, precio y hectáreas producidas. Rendimiento del grano 4.500 kg por ha con un costo de US\$552 ha⁻¹; precio del maíz en Mercado de Chicago pronosticado para marzo de 2019 (US\$ 146,16 por tonelada).

Tabla 5. Comparación de la rentabilidad de la producción de 32 ha de maíz con la producción de biogás con ensilaje de maíz.

Venta del grano (a)		Digestión en Planta de Biogás (b)	
Ingreso total	US\$ 20.936	Ganancia neta anual	US\$1.060.080
Ganancia o pérdida	US\$ 3.365	Ganancia o pérdida por ha	US\$ 33.303
Ganancia o pérdida por ha	US\$ 106	Diferencia (a versus b)	US\$ 33.197

Fuente: elaboración propia

Se puede observar una diferencia de US\$ 33.197 (costo de oportunidad) por hectárea a favor de la cogeneración del maíz en una Planta de Biogás. En caso de alquilar la tierra no habría ganancia para el productor en este rubro. Se evidencia a través de este cálculo la situación delicada de la producción de maíz: el productor del complejo soja obtiene la mayoría de sus ganancias a través de la soja precisamente, quedando el maíz como cultivo complementario que no ofrece mucha renta, salvo en los casos de rendimientos cercanos a los 10.000 kg ha⁻¹, obteniendo así rentas de alrededor de US\$ 1.000. Sin embargo, aún en casos como este último, resultará siempre superior la alternativa de digerir los granos en un biodigestor.

La renta de este modelo se materializa al subsidiar al cultivo de la soja con la producción de biometano y fertilizante, ahorrando importantes costos. Al no haber la posibilidad legal de comercializar el biometano y al no haber un mercado para el biol, conviene aplicarlo en los campos agrícolas de la región de impacto.

Según este escenario, el biometano producido alcanzaría para subsidiar la labor de mecanización de 4.782 hectáreas de soja, solamente destinando el 0,67% de esa superficie (32 ha de maíz) para la generación de energía y fertilizante.

3.2.3. ESCENARIO 3: ESTIÉRCOL DE CERDO + GRANOS DE TRIGO.

En este escenario se combinan los granos de trigo con estiércol producido a partir de 5.000 cerdos. Los granos de trigo provienen del rendimiento de 185 hectáreas, estimándose un rendimiento promedio de 3.000 kg por hectárea (555 toneladas en total), superior al promedio nacional (2.000 kg). De esta forma se alcanzaría una potencia de 1.000 kW. El cálculo del precio de venta del fertilizante arrojó un precio de venta considerado en US\$ 4,6 por tonelada en base húmeda.

Tabla 6. Resultados económicos Escenario 3

Sustrato (toneladas base húmeda)	20.564	Tractor a Biometano (US\$)	150.000	Ganancia neta anual (US\$)	1.027.149
Costos civiles y equipo electromecánico (US\$)	2.640.896	Costos variables anuales (US\$)	475.561	TIR	27,2%
Tecnología de Absorción con Agua 250 Nm ³ .h ⁻¹ (US\$)	1.316.750	Gas m ³	3.931.723	VPN (US\$)	10.169.903
Estación de carga para vehículos (US\$)	285.938	Biometano m ³	2.256.809	Payback	7,6 años

Fuente: elaboración propia

El costo total de este modelo es de US\$ 5.794.486. Se observa el plazo de recuperación ligeramente superior al escenario anterior, esto se debe a la menor cantidad de sustrato utilizado, lo cual resulta en una menor cantidad final de biol disponible. En combinación, ambos sustratos -maíz y trigo- sumados a otro sustrato co-generador hacen una buena mezcla y pueden generar resultados igualmente dignos de considerar.

- **Costo de oportunidad de la venta de grano de trigo versus producción de biogás.**

Se utilizó la ganancia neta anual para calcular la ganancia total de la producción de biogás, manteniendo los datos anteriores de costos, precio y hectáreas producidas. Rendimiento del grano 3.000 kg ha⁻¹ con un costo de US\$ 540 ha⁻¹; precio del trigo en Mercado de Chicago pronosticado para marzo de 2019 (US\$ 185,74 por tonelada).

Tabla 7. Comparación de la rentabilidad de la producción de 185 ha de trigo con la producción de biogás con ensilaje de maíz.

Venta del grano (a)		Digestión en Planta de Biogás (b)	
Ingreso total	US\$ 103.343	Ganancia neta anual	US\$ 1.027.227
Ganancia o pérdida	US\$ 15.542	Ganancia o pérdida por ha	US\$ 5.539
Ganancia o pérdida por ha	US\$ 84	Diferencia (a versus b)	US\$ 5.455

Fuente: elaboración propia

El productor de trigo tiene un costo de oportunidad de US\$ 5.455 por hectárea a favor de la co-generación del grano de trigo en un Planta de Biogás. El trigo no ofrece muchas ventajas actualmente al productor, debido al precio volátil pero también a los bajos rendimientos promedio nacionales. En caso de llegar a los 3.000 kg ha⁻¹ se obtendría una renta de US\$ 84 ha⁻¹, pero es difícil predecir que las condiciones agrológicas se mantengan óptimas. Al tener Paraguay un clima sub-tropical, las variedades de trigo no logran los rendimientos que se obtienen en climas fríos (alrededor de 6 toneladas o más), por lo cual la venta del grano de trigo en bruto no representa mucho atractivo, sino sólo en caso de lograr transformaciones sucesivas en sus subproductos.

Según este escenario, el biometano producido alcanzaría para subsidiar la labor de mecanización de 4.702 hectáreas de soja, destinando el 3,94% de esa superficie (185 ha de trigo) para la generación de energía y fertilizante.

Al hacer la comparación de los resultados obtenidos en maíz y trigo, el maíz logra una diferencia de US\$ 27.742 a favor. Lógicamente dichos rubros son producidos en épocas diferentes (el maíz es cultivo de verano) y por lo tanto no compiten entre sí, sino que se complementan y pueden lograr en conjunto un efecto multiplicador más que interesante para apoyar la gestión de Cooperativas o Asociaciones de Productores, por ejemplo.

3.2.4. AHORRO DE FERTILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE SOJA, TRIGO Y MAÍZ (SEGÚN ESCENARIO 1).

A fin de exponer las posibilidades y ampliar las perspectivas acerca de la capacidad de los

modelos presentados para generar aportes al sector agropecuario, en este sub-capítulo se desglosan los resultados obtenidos en el Escenario 1 en cuanto al aporte del biol a la rentabilidad de la producción. Además se presentan opciones de tecnologías para la fertilización con este material.

En cada proyecto, las formulaciones para la fertilización varían de acuerdo con el cultivo, el tipo y el origen del suelo, las condiciones físico-químicas de la tierra, la región geográfica y la productividad deseada. En estos cálculos se tuvo en cuenta sólo la dosis recomendada para cada rubro, el sustrato considerado fue el biol de estiércol de cerdo.

- **Preparación del fertilizante.**

El estiércol de cerdo, después de la fermentación, pasa por un proceso de separación estándar, como se puede observar en la Figura 2. La parte líquida, puede ser utilizada como biofertilizante o encaminada a un proceso de tratamiento y la parte sólida puede ser destinada a la comercialización como fertilizante sólido.

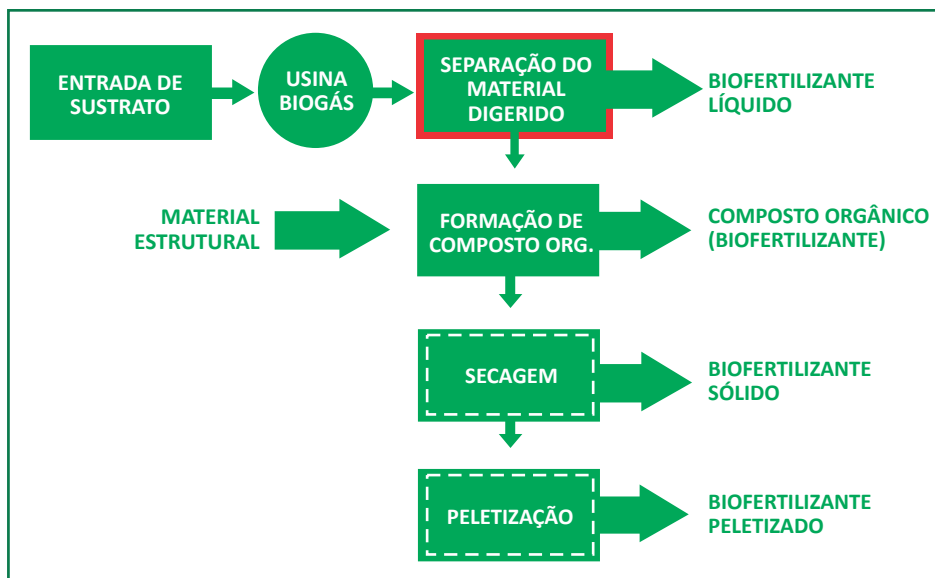


Figura 2. Diagrama del proceso de obtención del biofertilizante sólido.

Fuente: PROBIOGÁS, 2015.

La separación de los biofertilizantes líquido y sólido puede ser realizada en equipos, tales como centrífuga, centrífuga decanter, criba estática y screw press. Se considera una separación eficiente cuando la fracción sólida representa del 5% al 10% del peso con un contenido de masa seca entre el 20% y el 22% y la fracción neta representa del 90% al 95% del peso con un contenido de masa seca entre el 2% y el 3%. La parte sólida todavía podrá pasar por un sistema de secado abierto o por un secador rotatorio hasta alcanzar el contenido del 15% de humedad, posibilitando la peletización.

Durante la peletización, la temperatura del proceso es superior a 70°C, con lo que es posible garantizar también la higienización del material, cuando sea necesario. Sin embargo, el proceso de peletización acarrea en costes adicionales para el producto final, el cual debe ser suplido por la venta del producto. (PROBIOGÁS, 2015).

- **Producción de fertilizante y ahorro generado.**

Se observa en la tabla 8, que el Fósforo es el principal componente disponible en el Biol y el que puede generar mayor ahorro, ya que partes del Nitrógeno se volatilizan en el proceso. El ahorro total es de US\$ 395.160 anuales. La rentabilidad es variable conforme los precios del mercado de los fertilizantes minerales y -al igual que en todos escenarios- la misma se materializa al ahorrar costos, en este caso de fertilización. Partiendo del Escenario 1, siendo éste alimentado puramente con estiércol de cerdo, bien podría servir para subsidiar varios rubros agrícolas indistintamente, a diferencia de los Escenarios 2 y 3, en los que la producción energética y el biol sirven para subsidiar al cultivo de soja.

Tabla 8. Ahorro total anual de Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

	N	P ₂ O ₅	k ₂ O
Compuesto NPK biol (promedio) ¹⁰	3,6%	2,5%	2,4%
Concentración de nutrientes base seca kg t ¹	27,2	18,9	18,1
Eficiencia agronómica	50%	80%	100%
Nutrientes disponibles base seca kg t ¹	163	181	217
Precio US\$ por kilogramo	0,7	0,82	0,61
Ahorro US\$	114.093	148.502	132.565

Fuente: elaboración propia con datos de PROBIOGÁS (2015) Y FNR (2010).

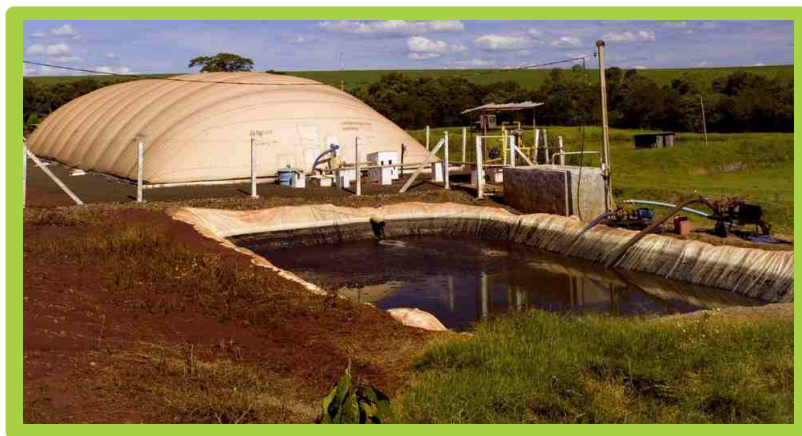
¹⁰ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) en, FNR (2010).

En la tabla 9 se destaca que la soja no se incluye debido a su capacidad de auto-generación de Nitrógeno a partir de las bacterias del género Rhizobium. Para separar los elementos del biol se requieren métodos y tecnologías especiales, lo cual este estudio no consideró. Simplemente se presentan las posibilidades, aunque esta experiencia es real y se está llevando a cabo por parte de empresas del sector privado, con muy buenos resultados. Con todo, al calcular la cantidad de fertilizante aplicado por hectárea con el biol, es posible determinar la necesidad de complementación o no con fertilización mineral y el ahorro final. Se destaca que en trigo se puede alcanzar mayor superficie de fertilización en los tres macro elementos -con respecto a los demás rubros- debido a su menor exigencia de fertilización.

Tabla 9. Hectáreas posibles de fertilización por año por cultivo según necesidad y elemento¹¹.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Soja	-	4.022	3.103
Maíz	1.123	1.508	2.715
Trigo	1.810	4.022	7.240

Fuente: elaboración propia.



¹¹ En este estudio no se consideraron medidas de mitigación de la carga eléctrica presente en el biol de cerdo.



4. CONCLUSIONES

Este estudio de pretendió aportar conocimiento e información acerca de nuevas fronteras de expansión de la agricultura y oportunidades que presentan los mercados de las energías renovables, específicamente el biogás. A fin de lograrlo, se propuso demostrar la capacidad energética contenida en el ensilaje de maíz y los granos de trigo (en



combinación con materia orgánica húmeda) que hoy son directamente comercializados en bruto o se encuentran almacenados en silos de granos, aguardando mejores precios de los mercados internacionales, cuando estos mismos granos, utilizados a conciencia pueden generar ganancias mucho mayores, desarrollar tecnología, industrialización, investigación y desarrollo.

Desde ningún punto de vista este estudio deja de ver la necesidad de producción de alimentos para el mundo, de hecho, este estudio viene a construir y a aportar: en el sentido de que la agricultura hoy necesita ser más eficiente y rentable, debe serlo debido a la fluctuación de los precios y los costos competitivos, además no se puede confiar por siempre al Estado la labor de subsidiar los riesgos de la labor productiva.

En este estudio se utilizaron los ejemplos del trigo y el maíz precisamente por ser dos rubros ampliamente cultivados en Paraguay, que sin embargo presentan históricamente rendimientos bajos y renta poco satisfactoria -sino pérdida-. Al utilizar el mismo material genético, tecnología productiva y know-how el productor puede alcanzar -según este estudio y considerando los escenarios- rentabilidad y auto sustentabilidad.

Se podría criticar también el uso del maíz y el trigo siendo dos rubros alimenticios. Sin embargo, podríamos también considerar lo siguiente: si decidiéramos dejar de utilizar 1 ha de

maíz para cultivar 1 ha de sorgo (también interesante para producir biogás), tranquilizaríamos la conciencia del que no quiere ver que el maíz es insertado en el biodigestor, sin embargo dejamos de producir 1 ha de maíz, y aún necesitaríamos más hectáreas de sorgo para completar la necesidad energética, porque el maíz tiene más potencial energético que el sorgo. Además el ensilaje de maíz también se utiliza normalmente y con mucho éxito como forraje en la alimentación animal; de la misma forma el trigo es utilizado en raciones de balanceados para animales. Así se ve que finalmente es una cuestión de eficiencia y transformación energética: el maíz y el trigo procesados en el biodigestor finalmente son transformados en energía para la producción de alimentos para el consumo humano.

Otro punto a considerar es que en los escenarios considerados solamente se utilizaron 32 ha de maíz (1.440 toneladas de masa húmeda) y 185 ha de trigo (555 toneladas). Para el desarrollo del escenario 2 (maíz) se calculó una baja densidad de superficie cultivada (gracias al buen rendimiento de masa verde del maíz), teniendo en cuenta que para el buen desempeño de una finca agrícola del complejo soja es preferible partir de una superficie de 100 ha para alcanzar economía de escala. En cuanto al escenario 3, los rendimientos relativamente bajos del trigo hacen que la necesidad de superficie sea mayor, por lo cual es preferible tener en cuenta esta opción para grandes productores o en su defecto generar asociaciones. En este caso se podría haber tenido en cuenta la utilización del trigo en masa húmeda, pero se decidió así a fin de demostrar la complementación positiva de los granos para la producción de biogás y dejar entrever opciones de utilización de los granos de trigo que hoy son almacenados en los Silos de granos esparcidos a lo largo del país. Estos Silos consumen gran cantidad de energía, lo cual se traduce en costos que deben ser cubiertos: con el uso de los granos y un biodigestor podrían reemplazar el uso de la leña, electricidad y otros carburantes con el biogás para generar ahorros.

En ambos escenarios 2 y 3, no es necesario destinar todo el cultivo para la producción de biogás y biol, sino solamente conforme a la necesidad energética. Esto se determina según la envergadura del proyecto, la meta de producción, la disponibilidad del sustrato co-generador que aporta la humedad -en este caso el estiércol de cerdo que también aporta carga orgánica- o en su

defecto de la disponibilidad de agua, entre otros factores. Este estudio consideró escenarios de gran escala y por lo tanto de alta inversión de capital, por lo cual la mejor opción para posibilitar la implementación de proyectos de este tipo sería la asociación entre productores agropecuarios, cooperativas o inversionistas privados (Joint Ventures), ya que los bancos paraguayos -en general- aún no cuentan con productos crediticios para energías renovables debido a la falta de experiencia al respecto.

La fertilización con Biol demostró ser una opción rentable, representando practicidad para el productor, pudiendo utilizarse en forma líquida o sólida. La peletización presenta una alternativa de ganancia adicional como producto de venta al mercado.

La inclusión de Biodigestores Industriales en la cadena productiva del complejo soja puede apoyar de forma decisiva a la obtención de mayor rentabilidad al productor, al tiempo de disminuir el riesgo al que se expone.

En el análisis de los modelos brasileños resultó fundamental la asociación con institutos de investigación y de capacitación para obtener mejores resultados. Cabe señalar que el apoyo del Gobierno es un elemento influyente para el éxito del modelo, siendo de interés del mismo apoyar la gestión privada para elevar la oferta energética nacional. Una cuestión que queda pendiente en Paraguay es la reglamentación legal de la venta de energía eléctrica a la Red, a fin de poder comercializar la energía y el Biometano. Sin embargo, es posible zanjar esta situación al consumir la energía en la misma finca en que se genera.

Siguientes estudios de complemento para el sector agropecuario podrían concentrarse en rubros como el sorgo y pasto elefante en combinación con estiércol bovino (proveniente de tambos lecheros o feedlots).





5. BIBLIOGRAFÍA

- * ANDE (2017). "PLIEGO21". <http://ande.gov.py/docs/tarifas/PLIEGO21>.
- * APER (Asociación Paraguaya de Energías Renovables), 2017. "Veto de ley de energías renovables no convencionales y sus regímenes especiales". www.aper.org.py.
<https://aper.gov.py/noticias/veto-de-ley-de-energias-renovables-no-concencionales-y-sus-regimientos-especiales/>
- * ARP (Asociación Rural del Paraguay), 2017. Introducción a Paraguay y su Sector Cárnico. Abril 2017. www.arp.org.py
- * Bauer, F.; Hulteberg, C.; Persson, T.; & Tamm, D. 2012. Biogas upgrading - Review of commercial technologies. Svenskt Gastekniskt Center, Malmö.
- * CAPECO (Cámara Paraguaya de Oleaginosas) 2018. "Ranking Mundial – Capeco." <http://capeco.org.py/ranking-mundial-es/>.
- * FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) 2010. "Guía sobre el Biogás, Desde la producción hasta el uso". www.fnr.de. Editorial: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit.
- * García Sánchez, Francisco José. 2016. Producción de biometano a partir de biogás de vertedero. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla Sevilla, 2016.
- * GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit D. G.). 2011. Situación actual de las Energías Renovables en Paraguay. Asunción.
- * Hannah Warren, Katie Elizabeth (2012). Master's Thesis: "A techno-economic comparison of biogas upgrading technologies in Europe". UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science, Department of Biological and Environmental Science.
- * IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2018. Sector Porcino. <http://www.iica.org.py/observatorio/porcino.htm>

* PROBIOGÁS (Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil) (2015). "Caderno 2: Desenvolvimento de um anteprojeto para a implantação de uma usina modelo de pesquisa e capacitação de biogás na região de Concórdia/SC". SNSA / MCidades: Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil, telefone: +55(61) 2108-1000. www.cidades.gov.br

* PROBIOGÁS (Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil) (2015). "Caderno 3: OPORTUNIDADES DE NEGÓCIO PARA A COMERCIALIZAÇÃO DO FERTILIZANTE SÓLIDO PROCEDENTE DO TRATAMENTO DE MATERIAL Digerido de uma planta de biogás.". SNSA / MCidades: Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil, telefone: +55(61) 2108-1000. www.cidades.gov.br

* Mitschke, Thomas; Linnenberg, Carsten; Nau, Daniel; Pinasco, Horacio; Ramoska, Javier (2016). United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Proyecto BIOVALOR.

* Sistema Biobolsa (2018). <http://sistemabiobolsa.com/pdf/manualDeBiol.pdf>

* VALTRA (2018). Tractores Valtra Dual Fuel. <http://www.valtra.es/>





Potencial de producción energética a partir del biogás de residuos agroindustriales en Paraguay

Juan Pablo Dos Santos M.¹, Stijn Van der Krogt², Hugo Vargas³

^{1,2,3}Universidad Paraguayo Alemana (UPA)

juan.dossantos@upa.edu.py

Resumen: En este estudio¹ se determinó el potencial de los residuos provenientes de la agroindustria para producir biogás con la opción de transformarlo en energía eléctrica, térmica y/o biometano. Los sectores analizados fueron: producción azucarera, bovina (carne y leche), porcina y avícola. Se tomaron en cuenta los rendimientos teóricos específicos para cada sustrato a fin de estimar la generación de energía. De esta forma, los resultados arrojaron que el sector más productivo es el azucarero, seguido del avícola, bovino y porcino. El potencial energético es de 315 millones de m³ de biogás anuales, lo que se traduce en 300 mW de potencia térmica, 120 mW de potencia eléctrica. Resalta también la capacidad de sustitución de leña en 466.163 ton/año, resultando significativo como apoyo para la disminución de la deforestación de bosques nativos.



1. INTRODUCCIÓN

La economía del Paraguay se caracteriza por el importante peso en el PIB de su sector primario (10,6%), especialmente agricultura (7,1%) y ganadería (2,5%). En cuanto al sector secundario (34%), Paraguay posee uno de los mayores potenciales de generación de energía hidroeléctrica per cápita del mundo: dispone de dos grandes complejos hidroeléctricos: la Binacional de Itaipú y la Binacional de Yacyretá².

En la matriz energética del Paraguay la composición de la producción primaria de energía es como sigue: 60,9% hidroenergía y 39,1% biomasa (leña, carbón vegetal y residuos vegetales).

¹ Este Proyecto es cofinanciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT con recursos del FEEI

² (Embajada de España en Asunción, 2018)

Analizando el consumo final, la biomasa ocupa el 43% de la energía consumida, 18% electricidad y 39% hidrocarburos. En la estructura del consumo final de biomasa la leña ocupa 60% (FEPAMA, 2015).

El problema de esto último radica en que la biomasa consumida proviene de bosques nativos (sin manejo racional), asociado a una creciente demanda tanto para consumo doméstico como para la agroindustria -donde es fuertemente utilizada-, dando como resultado un balance negativo de 7,5 a 10 millones de ton/año de oferta de biomasa sólida (VMME, 2013). Adicionalmente, cabe mencionar que Paraguay es un importador neto de hidrocarburos (Petropar, 2013).

Precisamente es en la agroindustria en donde podría encontrarse un paliativo a esta situación: a partir de sus residuos se puede producir biogás, el cual puede sustituir a la leña, al diésel y además generar electricidad. Este estudio se enfocó en los principales sub-sectores agroindustriales del Paraguay, en los que se halla mayor generación de residuos y más fiabilidad de datos.



2. METODOLOGÍA

Se generó un inventario de los sustratos orgánicos con potencial de fermentación a metano de las siguientes industrias: caña de azúcar, ganado bovino (carne y leche), porcino y aviar. El inventario se hizo a nivel nacional, utilizando datos como IICA (2017) y SENACSA (2018).

Para el cálculo de producción de biogás se consideró la metodología utilizada por SNV (2011). Según las características de cada industria, y los rendimientos típicos, se estimó la masa de producto generado anualmente (A). Para el efecto, se utilizó la literatura proveída por Deublin y Steinhauser (2009). Según rendimiento de cada producto y la generación de residuos, se multiplicó el factor (A) por el factor de generación de residuo (B). El biogás equivalente (Nm^3



biogás/año) resultante de $A \times B$ se multiplicó por $21,6 \text{ MJ/Nm}^3$ para determinar la energía térmica equivalente, utilizando luego las fórmulas 3 y 4 para determinar las potencias térmica y eléctrica.

$$PB = REB \times CO \times \eta \quad (1)^3$$

$$ET = PB \times PCI \quad (2)^4$$

$$PT = ET / (24 \times 3.600) \quad (3)^5$$

$$PE = PT \times 0,4 \quad (4)^6$$

Las estimaciones de energía térmica y eléctrica, y de potencia térmica y eléctrica se basaron en las siguientes ecuaciones:



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla1. Sustratos disponibles desde cada sector

Sector	Parámetro de medición	Unidades	Valor
Azucarero	Caña molida (promedio 2012-2016)	ton	6.174.205
Bovino de carne	Bovinos faenados (2017)	cabezas	2.066.100
Avícola	Aves faenadas (2017)	unidades	66.624.077
Porcino	Cerdos Faenados (2017)	cabezas	495.513
Lechero	Producción nacional de leche (2017)	m^3	459.807

Fuente: elaboración propia con datos de (SENACSA, 2018) e (IICA, 2017).

³ PB = Potencial de biogás (Nm^3 biogás al 60% CH_4 /día o jornada producción),
REB = Rendimiento específico de biogás del efluente = $0,53 \text{ Nm}^3$ biogás
al 60% CH_4 /kg DQO removido,
CO = carga orgánica del sustrato (kg DQO/día o jornada de producción),
 η = eficiencia de conversión (asumida o documentada) para el sustrato

⁴ ET = energía térmica (MJ/día); PCI = poder calorífico inferior del biogás
a 60% CH_4 = $21,6 \text{ MJ/Nm}^3$

⁵ PT = potencia térmica (MWt)⁶ y donde 24 representa las horas del día
y 3.600 los segundos por hora

⁶ PE = potencia eléctrica (MWe)⁷ y donde el factor 0,4 representa la eficiencia de
conversión térmica a eléctrica asumida

Tabla 2. Potencial de producción energética a partir de los sustratos seleccionados.

Sector	Biogás m ³ /año	Potencia	Energía	Potencia	Energía
		térmica (MWt)	térmica MWht/año	eléctrica (MWe)	eléctrica MWhe/año
Azucarero	124.147.113	170	1.489.765	68	544.207
Bovino de carne	18.818.755	13	112.913	5	41.247
Avícola	101.778.036	70	610.668	28	223.075
Porcino	21.137.371	14	126.824	6	46.328
Bov. Leche	49.027.606	32	283.737	13	103.648
TOTALES	314.908.881	300	2.623.908	120	958.505

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se detallan los valores base utilizados, a partir de los cuales se determinaron los resultados de la Tabla 2. Cálculos adicionales a partir de esta última arrojan que se podría sustituir 207,8 millones de litros de diésel, lo que corresponde al 12% del consumo total del Paraguay, al 91% del Departamento del Alto Paraná y a casi el doble de la demanda del Departamento de Itapúa (197%). El ahorro total para el país alcanza M USD \$171, teniendo en cuenta los precios actuales del diésel. Además, se podría satisfacer 336.672 viviendas de clase media con energía eléctrica durante un año (63,2% de la población de Asunción, capital del Paraguay).



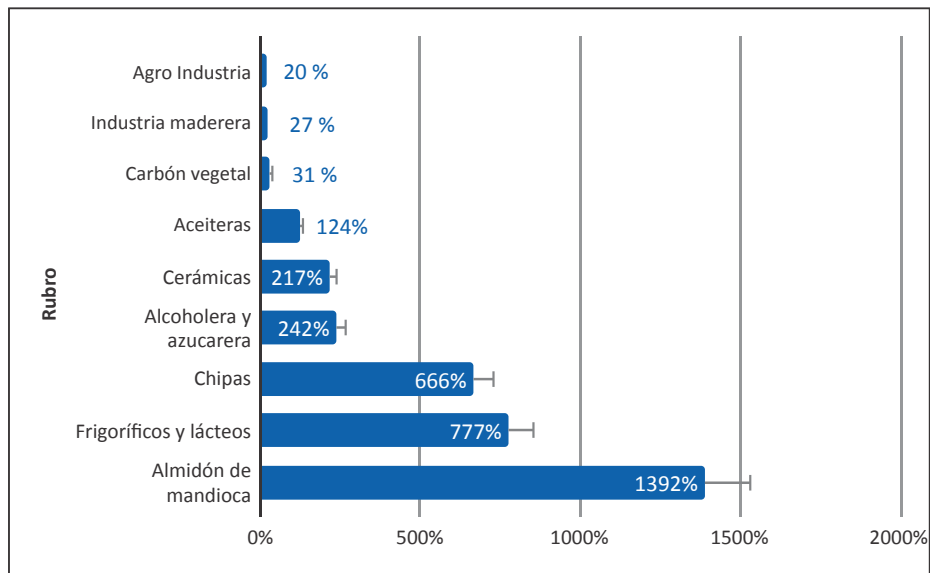


Figura 1. Capacidad de sustitución de leña por biogás en Paraguay, por rubro.

Fuente: elaboración propia con datos de (VMME, 2013)

Paralelamente, la energía térmica generada podría reemplazar 466.163 toneladas de leña al año, correspondiendo esto al 4% del consumo total anual de biomasa sólida en la Región Oriental del Paraguay y al 6,2% del mínimo para cubrir el déficit anual. La Figura 1 ofrece un panorama esclarecedor sobre la capacidad de sustitución en rubros puntuales, destacándose por ejemplo que en *Frigoríficos y Lácteos* se obtiene 7,7 veces más de la energía demandada y 2,2 veces más para la industria *Cerámica*.



4. CONCLUSIONES

La sustitución del diésel con biogás puede influir sensiblemente en la rentabilidad de proyectos agropecuarios, reduciendo costos por medio de la utilización de tractores movidos a biogás. Lo mencionado anteriormente podría generar en Paraguay una revolución, al permitir al productor una posición más favorable frente a las fluctuaciones de los precios y amenazas climatológicas, fortaleciendo al sector al mejorar la competitividad de varios cultivos, entre ellos el maíz y el trigo.

La sustitución de la leña con biogás se convierte casi en una necesidad y una solución a corto plazo frente a la reforestación que necesita el país a fin de cubrir su demanda de energía térmica.



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

* Embajada de España en Asunción, Oficina económica y comercial. INFORME ECONÓMICO Y COMERCIAL. Asunción: Secretaría de Estado de Comercio, Gobierno de España, 2018.

* FEPAMA. La Leña, Con El 55% Sigue Siendo La Principal Fuente De Biomasa En Paraguay. Asunción, Paraguay: <https://www.fepama.org.>, 2015.

* IICA, Observatorio. Informe sobre caña de azúcar. San Lorenzo: www.iica.org.py. Retrieved 30 August 2018, from <http://www.iica.org.py/observatorio/cana.html>., 2017.

* Petropar. ¿Cómo funciona PETROPAR? Asunción: www.petropar.gov.py., 2013.

- * SENACSA. Estadística Pecuaria. San Lorenzo, Paraguay: www.senacsa.gov.py, 2018.
- * SNV, PNUD. Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras. Tegucigalpa, Honduras: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras, PNUD, 2011.
- * VMME, GIZ, MOPC. Producción y consumo de biomasa sólida en Paraguay. Asunción, Paraguay: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Viceministerio de Minas y Energías (VMME), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2013.





ANEXOS

CALCULADORA DE BIOGÁS

- MODELO DE CÁLCULO:

Como resultado de la investigación se tiene la CALCULADORA DE BIOGÁS, la cual se encuentra en la dirección <https://biogas.upa.edu.py/>

A continuación se presentan unas capturas de pantalla sobre la misma:

CALCULADORA DE BIOGÁS INICIO EJEMPLOS SOLICITÁ ASESORÍA SOBRE LA CALCULADORA

BIOGÁS PARA EL SECTOR AGROPECUARIO

Esta calculadora nació con la intención de facilitar el cálculo para la inversión en biogás a partir de sustratos del sector agropecuario.

Tiene el propósito de servir como apoyo para la agricultura, determinando el ahorro que se logra a través de:

- la sustitución del diesel con el biogás (el diesel forma parte importante de los costos en las labores de mecanización agrícolas, transporte de granos, etc.)
- la sustitución de los fertilizantes minerales con el digestato (fertilizante natural que queda luego de la digestión anaeróbica)
- emisiones evitadas de CO₂

Utilizando los sustratos resultantes de la actividad agropecuaria, esta calculadora pretende demostrar la conveniencia de invertir en biogás, limitándose a los siguientes sustratos:

SUSTRATOS AGRÍCOLAS	SUSTRATOS AGROINDUSTRIALES
<ul style="list-style-type: none">• ensilaje de maíz• granos de trigo	<ul style="list-style-type: none">• estiércol bovino• estiércol porcino• estiércol aviar• residuos de mataderos• vinaza• residuos de tambos lecheros

Se permite la combinación de todos los sustratos, pudiéndose elegir solamente SUSTRATOS AGROINDUSTRIALES, no así SUSTRATOS AGRÍCOLAS de forma aislada, ya que el modelo solo funciona utilizando los agroindustriales como base húmeda.

Recuerde que aquí no se le proporcionará todos los datos que necesite para la implementación de un proyecto, ya que cada proyecto es único. Sin embargo, le ayudará para lograr un mayor acercamiento a la realidad y facilitar así la toma de decisiones.

¡QUE DISFRUTE UTILIZANDO LA CALCULADORA DE BIOGÁS!

CALCULADORA

Vía 1

A partir de un sustrato agroindustrial existente, necesitando ser complementado con uno agrícola para alcanzar un rendimiento anual de biogás "X".

El resultado determinará cuántas hectáreas del cultivo elegido serán necesarias para ese fin.

Para determinar el rendimiento de biogás debe considerarse que 1 m³ de biogás equivale aproximadamente a 0,6 litros de diésel.

[Ir a vía 1](#)

Vía 2

La vía 2 ofrece el cálculo directo, se elige libremente la combinación y cantidad de sustratos, pudiendo elegirse sólo sustratos agroindustriales, no así agrícolas.

[Ir a vía 2](#)

CALCULADORA DE BIOGAS

INICIO

EJEMPLOS

SOLICITÁ ASESORÍA

SOBRE LA CALCULADORA

EJEMPLOS

Los siguientes enlaces presentan un ejemplo del uso de la herramienta online para el cálculo de proyectos de biogás para algunos sectores productivos.

ENLACES DE EJEMPLO



- Producción grande de biogás, Vacas lecheras y Suero de leche [Ver resultados.](#) >
- Producción mediana de biogás, Vinaza [Ver resultados.](#) >
- Producción pequeña 934.000 m3 de biogás al año. Cerdos y Granos de trigo [Ver resultados.](#) >

CALCULADORA DE BIOGAS

INICIO

EJEMPLOS

SOLICITÁ ASESORÍA

SOBRE LA CALCULADORA

RESULTADOS



Datos de entrada

Rendimiento

Ahorros

Flujo de caja

DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO

Datos	Valores
Rendimiento de biogás	934.000 m ³
Cerdos	1.250 cabezas

CALCULADORA DE BIODIGESTORES
INICIO
EJEMPLOS
SOLICITA ASesorIA
SOBRE LA CALCULADORA

RESULTADOS

Cálculo de viabilidad
Resultados
Datos
Ayuda de uso

RENDIMIENTO

Datos:	Metros
Plantas necesarias para el proyecto (Cantidad de BOD)	3,77 Ud.
Biodigestores por planta	100,000 l/d
Capacidad de BOD unidades	6,000 toneladas por 100 unidades
Energía producida al año	2,022,000 kWh
Costo por metro de la energía eléctrica a $\left(\frac{1000}{1000}\right) \cdot 1,2000$	2,426,400 \$
Costo por sustitución del diesel a $\left(\frac{1000}{1000}\right) \cdot 4,70$	4,540,000 \$
Costos de operación por planta	100,000 \$
Mantenimiento por planta	100,000 \$
Costo por rendimiento a $\left(\frac{1000}{1000}\right) \cdot 1,2000 + 4,70 + \left(\frac{1000}{1000}\right) \cdot 1,2000$	
Costo de inversión	3,000,000 \$
Costo anual	2,700,000 \$

CONSIDERACIONES

El costo de la energía eléctrica, los costos y del diesel puede ser creditado por el usuario.

El costo de inversión consiste, entre otros aspectos:

- Costo de inversión de maquinaria
- costo de inversión para el pago de instalación
- Montaje de cubiertas de material inoxidable y resistentes a la corrosión
- Costos de inversión de los equipos de planta
- Sistema de recolección de biogas

- Cálculos de alimentación y riego tipo
- Cálculos para estimación de objetivos de biogas
- Cálculo de seguridad para el control de presiones térmicas y gases
- Control de temperatura, pH y pH
- Sistema de agitación
- Costos para el agua y/o agua de riego en el biogas
- Precio de compra de tierra
- Precio de compra de diferentes del biogas
- El usuario puede incluir el costo del tractor o equipo para tracción para también considerar los costos de costo de combustible. Esto (normalmente) con los costos.

Sobre los resultados

- **Biogás producido al año:** Se calcula en base a la masa total de cada cultivo, solo en los casos del cultivo de soja y maíz, en especies el uso de la fermentación anaeróbica de biogás (FEEI)
- **Emissiones de CO2 evitadas:** Se calcula en base a la cantidad de biogás
- **Energía producida al año:** Se suma los puntos con la energía eléctrica
- **Tiempos de abastecimiento producidos:** El abastecimiento es el hecho de abastecer que pueden ser (1) Costo como

CALCULADORA DE BIOGAS
INICIO EJEMPLOS SOLICITA ASISTENCIA SOBRE LA CALCULADORA

RESULTADOS

▼

Cultivos de entrada
Materiales
Motos
Otros de costo

AHORRO POR SUSTITUCIÓN DEL DIESEL CON BIOGÁS

Cultivos	Ahorro anual de diesel	Alcance del ahorro en hectáreas	% de utilización de tierra para generación de biogás
Soja	800.000 \$	7.700 ha	8,74 %
Maíz	140.000 \$	1.140 ha	1,29 %
Tierras	100.000 \$	1.000 ha	1,11 %

OTROS AHORROS

Detalle	Valor
Distancia de ahorro para transporte del biogás en camiones	20.000 km

DEFINICIONES:

Para dimensionar el sistema se calcula el volumen (o cubaje) de la cantidad de forraje de concentración con factor de conversión para cada cultivo, con base en los resultados obtenidos en campo del sistema de cultivo aplicado en el área de estudio actual.

Este sistema de cálculo permite evaluar los costos y beneficios económicos a través del tiempo en el mercado, lo cual debe ser considerado como costo de inversión en el proyecto.

El tiempo del ciclo de fertilización refiere a la cantidad de fertilizante de concentración con factor aplicado en las parcelas según cada cultivo.

La balance de efecto para el costo de carga en el campo, que se refiere al costo de producción al campo de carga inyectada a través de tuberías en el mercado.

CALCULADORA DE BIÓGAS

INICIO

EJEMPLO

SOLICITA
AYUDA

SOBRE LA
CALCULADORA

RESULTADOS

Cantidad de inyección:

1000000

1000000

1000000

FLUJO DE CAJA

Año	Ingresos	Gastos	Balance
0	0	1000000	-1000000
1	975000	270000	705000
2	975000	270000	1080000
3	975000	270000	1350000
4	975000	270000	1620000
5	975000	270000	1890000
6	975000	270000	2160000
7	975000	270000	2430000
8	975000	270000	2700000
9	975000	270000	2970000

101	627.000	27.000	1.471.000
111	627.000	27.000	6.288.000
121	627.000	27.000	6.601.000
131	627.000	27.000	9.247.000
141	627.000	27.000	16.274.000
151	627.000	27.000	17.286.000
161	627.000	27.000	12.287.000
171	627.000	27.000	1.274.000
181	627.000	27.000	12.278.000
191	627.000	27.000	14.094.000
201	627.000	27.000	19.288.000

CALCULADORA DE BIOGAS

[INICIO](#)
[EJEMPLOS](#)
[SOLICITA ASESORIA](#)
[SOBRE LA CALCULADORA](#)

SOLICITA ASESORIA

Nombre

Empresa

Teléfono

Email

Mensaje

Solicitar

ACERCA DEL PROYECTO

"Este Proyecto fue cofinanciado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT con recursos del FEEL"

Nombre del Proyecto:

"VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA UTILIZACIÓN DE BIODIGESTORES COMO COMPLEMENTO PARA EL SECTOR AGROINDUSTRIAL PARAGUAYO" Código PINV 15-949

Se trabajó bajo la modalidad de PROYECTOS ASOCIATIVOS, siendo la Universidad Paraguayo Alemana (UPA) la institución proponente, asociándose con los siguientes participantes:

- Asociado 1: Unión Industrial Paraguaya (UIP)
- Asociado 2: SRH Heitling Heidelberg - Universität zu Heidelberg
- Asociado 3: SNV Worldwide

Esta asociación se ha formado como alianza internacional entre organizaciones reconocidas en la temática del desarrollo de proyectos de implementación de Biodigestores y utilización de las TIC's en el sector de agronegocios. El aporte de cada uno de los asociados es el de desarrollar una investigación de alta calidad académica y al mismo tiempo con una relevancia práctica para el sector agroindustrial en el Paraguay. En esta alianza los socios contribuyeron de la siguiente manera:

- La UPA, a través de sus investigadores, contribuyen con su más de 25 años de experiencia en la aplicación de las TIC en el sector agroindustrial en países en vías de desarrollo y experiencia en investigación sobre la utilización de Biodigestores en el Paraguay;
- De su lado, la Universidad de Heidelberg contribuyó con su amplio conocimiento de las potenciales aplicaciones y sistemas TIC relevantes para el sector industrial;
- SNV provee un intenso conocimiento y vasta experiencia en la ejecución de proyectos de Energías Renovables -especialmente producción de Biogás a partir de cultivos provenientes del sector agropecuario- y los desafíos de la adopción de tecnologías en este sector en América Latina;
- Finalmente, la UIP contribuyó con su red de empresas en el Paraguay para asegurar que la investigación cuente con la cooperación de los actores del sector agroindustrial y que la investigación se base en los desafíos de este sector.

Esta misma red permitirá lograr una amplia difusión de los resultados y lecciones aprendidas al sector.

“La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo del CONACYT. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión del CONACYT”.