



# Análisis técnico-económico de alternativas de gestión de digestato y producción de fertilizantes – Brief Report

Climate Helpdesk – Apoyo ad hoc para Implementación de NDC, LT LEDS y requisitos de transparencia (Sistemas MRV y adaptación de M&E)

Alfredo Erlwein Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.  
Eliana Sotomayor Ing. Agr.  
Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias  
Universidad Austral de Chile



Universidad Austral de Chile  
*Conocimiento y Naturaleza*

## ACERCA DE ESTE DOCUMENTO

El presente *brief* presenta los principales resultados de la asistencia técnica proporcionada por un equipo del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile a Agrogeneradora, Sociedad Anónima filial de Grupo Central Agrícola (Guatemala), como parte del apoyo del Climate Helpdesk del Low Emission Development Strategies Global Partnership (LEDS GP).

Esta asistencia técnica ha sido gestionada por la Secretaría de la Plataforma Regional de Estrategias de Desarrollo y Bajo en Emisiones (LEDS LAC), en el marco de la Comunidad de Práctica sobre Bioenergía (Bio-E CoP, por sus siglas en inglés).

LEDS GP es una red global de gobiernos, organizaciones e individuos, que fue creada en el año 2011 con el objetivo de facilitar el diseño e implementación de estrategias de desarrollo de bajas emisiones (LEDS) y el establecimiento de metas climáticas ambiciosas. La Secretaría de LEDS GP, operada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), proporciona acceso a asistencia técnica rápida, de alta calidad y a corto plazo a los miembros de sus plataformas regionales por medio del Climate Helpdesk.

LEDS LAC es la plataforma regional de LEDS GP para América Latina y el Caribe. Esta cuenta con más de 2900 miembros a mayo de 2020 y, a través de la operación de Comunidades de Práctica y diferentes actividades presenciales y virtuales, proporciona espacios para el intercambio, el diálogo y la colaboración entre expertos gubernamentales, no gubernamentales e internacionales, sobre temas de relevancia para el desarrollo resiliente y bajo en emisiones. La Secretaría de la Plataforma es operada por Libélula Instituto para el Cambio Global.

La Bio-E CoP, organizada conjuntamente por LEDS LAC y el Grupo de Trabajo de Energía de LEDS GP, reúne a líderes de gobierno, sector privado, academia y organizaciones internacionales que trabajan en el desarrollo sostenible de la bioenergía en Latinoamérica y el Caribe. La CoP facilita intercambio y colaboración y coordina asistencias técnicas del Climate Helpdesk y otros socios para sus miembros.

Agrogeneradora, Sociedad Anónima filial de Grupo Central Agrícola, como miembro de la Bio-E CoP, solicitó apoyo para que se revisen y emitan comentarios y recomendaciones sobre el análisis técnico y financiero de las alternativas tecnológicas para la valorización del subproducto de biogás que esta tiene. En respuesta a esa solicitud, el Climate Helpdesk y la Secretaría de LEDS LAC coordinaron la contratación de la Universidad Austral de Chile, institución que ha elaborado el presente documento como resultado de su asistencia técnica.

# Análisis técnico-económico de alternativas de gestión de digestato y producción de fertilizantes – Brief Report

## INTRODUCCIÓN

Agrogeneradora, Sociedad Anónima filial de Grupo Central Agrícola es el primer proyecto de Guatemala que utiliza desechos pecuarios de su granja avícola para la generación de energía, tanto térmica como eléctrica a partir de biogás. Esto representa además una forma eficiente de gestionar sus residuos a través de la obtención y procesamiento del digestato, el cual, al ser comercializado como fertilizante, representa un activo para la empresa.

Se estima que un 10% de esta producción se comercializará como enmienda orgánica orientada al mercado minorista (B2C), sin alteraciones en su estructura química. Por otro lado, el 90% será dosificado con suplemento de fertilizantes minerales, según la prescripción de fincas (B2B) productoras de arveja china, brócoli y papa.

Esta asistencia técnica tiene como finalidad evaluar agrónomicamente las ventajas y desventajas de la enmienda y fertilizante órgano-mineral a base de digestato, junto con los precios a los cuales pueden ser comercializados. Además, sobre la base de las propuestas técnicas y cotizaciones de sistemas de secado/deshidratación de los subproductos de la biodigestión provistas por 3 empresas de maquinaria industrial (A, B y C), se evaluaron aspectos técnicos-ambientales y económicos de las alternativas. Cada aspecto evaluado se ponderó a través de un Análisis de Decisión Multicriterio PROMETHEE con el objeto de dar una orientación respecto de la mejor alternativa.

## ANÁLISIS DE FERTILIZANTES A COMERCIALIZAR

Las enmiendas orgánicas a base de digestato entregan importantes beneficios al sistema suelo, ya que permiten el aumento de la carga bacteriana, nutren y aportan materia orgánica [4]. Sin embargo, las enmiendas presentan una gran variabilidad en su

contenido nutricional debido a que contienen nutrientes mineralizados en diversas formas, algunos de ellos ligados orgánicamente, con una lenta mineralización. Esto, en comparación con los fertilizantes minerales, se traduce en diferencias en las tasas de liberación al suelo y consecuente disponibilidad a lo largo del tiempo.

Al considerar el balance del nitrógeno del suelo como la diferencia entre el N extractable (disponible) y la cantidad aplicada de nitrógeno total del digestato, una cantidad de nitrógeno proveniente del digestato no estará disponible para ser absorbida por los cultivos en el año de su aplicación, dada su utilización por la biología del suelo para degradar la materia orgánica fresca. Por lo tanto, el contenido de  $\text{NH}_4^+$  del digestato no puede considerarse equivalente al fertilizante mineral. Al respecto, se ha demostrado que existe un efecto sinérgico de la suplementación con fertilizantes minerales que permite una eficiencia ecológica<sup>1</sup> en la fertilización [5]. Esto, debido a que la fertilización mineral puede suplementar la cantidad de nitrógeno de la enmienda que no está disponible en el período post aplicación. Así, estas deficiencias de disponibilidad pueden compensarse combinando la fertilización orgánica con la mineral [2][5][6].

## Contenido nutricional y selección de fertilizante

Los contenidos nutricionales de la enmienda pura en base a digestato presentan un comportamiento de fertilizante 6-4-4 (6% N, 4% P y 4% K) cuya formulación nos indica que sus niveles de potasio son muy bajos, por lo tanto, es un fertilizante cuyo potencial es incrementar los niveles de fósforo del suelo.

Por otro lado, si para el primer año se considera un 50% de la entrega del contenido de nitrógeno y un

<sup>1</sup>. La eficiencia ecológica (ökologische effizienz) es la relación entre la energía o biomasa disponible y utilizada por uno o más organismos, en la cadena alimentaria o ecosistemas.

90% de fósforo y 95% de potasio, en términos reales se obtiene un fertilizante 3-4-4, el cual podría aplicarse al inicio de la fertilización como un corrector, para después ser complementado con la aplicación de un fertilizante nitrogenado.

La demanda nutricional de nitrógeno de las hortalizas y plantas en general, es alrededor de 5 veces más que de fósforo. Para el caso del potasio, la relación N/K es 1/2 a 1/0,5. Por lo tanto, considerando suelos que sean relativamente fértiles (con al menos buenos niveles de P), se recomienda un fertilizante 8-3-8 debido a que se acerca más a la demanda de la planta, y por ende a los requerimientos de los productores de hortalizas.

### **Costo alternativo del digestato**

En base a los contenidos nutricionales de los fertilizantes evaluados y a sus precios de mercado, se calculó el valor de una mezcla de fertilizantes que aporte la misma cantidad de nutrientes que una tonelada de digestato seco. De esta forma, en atención a sus contenidos y valores de mercado por unidad de nutrientes, se obtuvo un precio que oscila entre los USD 120-170 por tonelada de enmienda. Estos precios se calcularon considerando un escenario realista con una liberación al primer año del 50% de Nitrógeno, 95% de Fósforo y 90% de Potasio; y un escenario "optimista", con entrega total.

### **Granulación o peletización**

La peletización de digestato resulta atractiva para ambos clientes identificados en el estudio de mercado.

Para el caso de B2C, el pellet permite comercializar el fertilizante de forma óptima en envases pequeños en centros de jardinería y de bricolaje. Debido a su limpieza, son fáciles de usar para el cliente final [2]. En cuanto al mercado B2B, debido a que los cultivos de hortalizas poseen una mayor densidad de siembra en relación a las praderas y cultivos de cereales, el uso de pellet permite realizar una fertilización más precisa en la dosis, mejor localizada (individualmente por planta), más eficiente y por ende con menores costos en fertilización.

## **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS OFRECIDAS**

### **Agregación de valor al biogás, y eficiencia energética.**

La cogeneración de electricidad y calor a partir de biogás, puede alcanzar tasas de eficiencia por sobre el 80% a nivel industrial. Por otro lado, el secado de lodos vía combustión del biogás puede alcanzar eficiencias energéticas más altas. Sin embargo, la energía producida es sólo calor, cuyo precio de mercado es bajo comparado a la electricidad.

Dado lo anterior, se estimó la oferta de energía en base a biogás en 28714 m<sup>3</sup>/d, lo que permite una potencia eléctrica de 2722 KW y térmica de 3500 KW a través de cogeneración. En cuanto a la demanda eléctrica de la planta, se contemplan 351 HP de potencia (263 KW de consumo eléctrico asumiendo el 100% de los motores en funcionamiento).

Respecto a la demanda de energía térmica, considerando una eficiencia de secado de 0.7 kg/kWh (evaporación), se calculó en una potencia de 2604 KW. Por lo tanto, al compararse con la oferta térmica por cogeneración se advierte que el calor disponible alcanza lo requerido.

Finalmente, al comparar económicamente las alternativas con y sin uso de biogás en el proceso, tanto para combustión directa como para cogeneración de electricidad y calor, se advierte un rango de costos anuales desde sobre USD 4 millones (compra del 100% de la energía como electricidad) hasta una ganancia neta por sobre el millón de USD (por concepto de compra de energía y venta de electricidad excedente).

### **Análisis técnico de alternativas de tratamiento de digestato ofrecidas**

A continuación, se presenta un análisis técnico de las tres empresas oferentes de ingeniería para la planta de gestión de residuos y producción de fertilizantes.

**Empresa A.** La propuesta corresponde a un sistema de secado/deshidratado OptiPlate (platos). Este sistema es compatible con el aprovechamiento del calor residual de la cogeneración con biogás, dada su base en un flujo forzado de aire caliente. Sin embargo, el sistema ofrecido está dirigido al secado de estiércol. Si bien la fracción sólida del digestato puede tener características similares, y los equipos calibrarse para las diferencias, no se puede asegurar que están optimizados para un proceso asociado a biodigestión.

**Empresa B.** Al igual que la empresa A, el concepto central de secado es a través de cintas perforada/platos atravesados por flujo de aire forzado.

La empresa se enfoca específicamente en el secado de digestato, a través de un intercambiador de calor/aire, y posterior conducción del aire al secador. Además, ofrece un sistema de recuperación completa de nutrientes que permite un alto aprovechamiento, usando calor residual de cogeneración. Esta alternativa es interesante en la recuperación de nutrientes de la fracción líquida del digestato, que pueden constituir un alto porcentaje de los nutrientes totales.

**Empresa C.** La propuesta corresponde a un secador/deshidratador calentado a través de la combustión directa del biogás.

Como se verá en el análisis económico, ello puede implicar importantes costos alternativos, al no valorizar más la energía del biogás, como sería generando electricidad y aprovechando el calor residual de la cogeneración. Asimismo, un sistema de secado por combustión puede alcanzar altas temperaturas, lo que no sería óptimo ni para el proceso de peletizado, ni para la calidad del fertilizante. Contrariamente, un sistema de intercambio de calor a partir de agua caliente, como el de cogeneración, difícilmente excederá los 100°C.

### Ponderación

Para el análisis de la información técnica, se ponderaron los resultados con criterios cualitativos

de naturaleza sistémica o compleja a través de valores que van del 1 al 5 (1=muy malo; 2=malo; 3=regular; 4=bueno; y 5=muy bueno).

Cuadro 1. Criterios técnico-ambientales por tecnología.

Performance Técnico-Ambiental	Tecnologías		
	A	B	C
Experiencia en tratamiento de digestato/biogás	3	5	? (2)
Experiencia en avicultura	5	4	? (4)
Peletizado	5	5	? (4)
Sistema de secado	5	5	2
Ef. Energética y huella de carbono	4	5	2
Información en la WEB	4	5	1
Ef. recuperación fertilizante (contaminación riles)	? (4)	5	? (4)
<b>Ponderación</b>	<b>4,3</b>	<b>4,9</b>	<b>2,7</b>

De esta forma, y considerando sólo los aspectos ligados estrictamente a la integración de la biodigestión con la gestión de residuos, la posibilidad de aprovechar la energía térmica residual del biogás, y la experiencia en manejo de digestato en secado y peletizado de este tipo de residuos, la mejor elección resultó ser la empresa B, seguida por la A.

### Análisis económico de alternativas ofrecidas

Se analizaron, para la opción Enmienda y Fertilizante Órgano-mineral, los indicadores económicos TIR, VAN y PRI<sup>2</sup> para las 3 empresas (A, B y C). Además, se consideró para cada opción 2 escenarios, uno con un incremento anual de las ventas en un 10% (1) y otro en un 20% (2).

Como puede apreciarse en los cuadros 2 y 3, la alternativa más interesante en términos económico resultó ser el escenario A2, seguido por el escenario B2, con una diferencia de VAN de aproximadamente 10 % menos.

<sup>2</sup> Respectivamente: Tasa Interna de Retorno, Valor Actual Neto y Período de Recuperación de la Inversión

Cuadro 2. Indicadores financieros para la comercialización de enmienda.

Empresa - Escenario	Indicadores financieros		
	TIR	VAN (USD)	PRI
A1	37,37	299.540	4,95
A2	46,29	409.928	3,8
B1	30,28	247.443	5,4
B2	38,05	356.014	4,29
C1	14,76	49.265	7,1
C2	20,25	152.738	5,92

Cuadro 3. Indicadores financieros para la comercialización de fertilizante órgano mineral.

Empresa - Escenario	Indicadores financieros		
	TIR	VAN (USD)	PRI
A1	25	260.882	5,61
A2	30,92	396.340	4,67
B1	10,85	186.079	6,07
B2	28,33	359.658	4,94
C1	15,54	64.415	6,81
C2	30,92	396.340	4,67

Por otro lado, si calculamos a qué costo de operación el Valor Actual Neto es igual a 0, se obtiene que para la opción Enmienda, el escenario que permite mayores costos operacionales es el A2, seguido por el B2. En cuanto a la opción que menos podría incrementar los costos de operación es el escenario C1. El mismo ranking se obtiene para al análisis del fertilizante órgano-mineral (cuadro 4).

Cuadro 4. Incremento del costo operacional (USD/a), al cual el VAN se hace 0.

Empresa - Escenario	Enmienda	Fertilizante
A1	54.500	50.850
A2	74.500	77.300
B1	45.800	36.800
B2	66.000	70.250
C1	9.500	13.000
C2	29.800	77.300

### Selección de alternativa tecnológica

Para elegir la mejor tecnología ofrecida por las empresas, es decir, cuál de ellas permite mayores beneficios en la elaboración de enmienda y fertilizante órgano mineral, se aplicó el método Análisis de Decisión Multicriterio [1] a través del software PROMETHEE [3] con clasificación parcial de Promethee I y Promethee Ranking.

En el análisis, se consideraron los indicadores financieros TIR, VAN y PRI con una asignación del 60% de importancia relativa (20% TIR, 20% VAN, 20% PRI), mientras que para la ponderación de la performance Técnico-Ambiental para cada empresa se asignó un 40%. Los resultados se entregan en la figura 1.

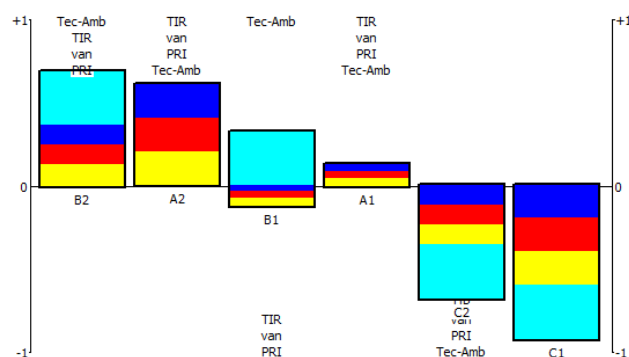


Figura 1. Ranking de selección de Promethee para distintas tecnologías y escenarios en la producción de fertilizante comercial. Parámetros sobre el gráfico indican ventaja, y bajo el gráfico, desventaja.

Con estos antecedentes, se compararon los resultados de prioridad de elección de los distintos fertilizantes comercializables, de manera de verificar si la selección de empresas varía dependiendo si se trata de enmienda o de fertilizante órgano-mineral. Al respecto, Promethee arroja el mismo ranking, aunque con pequeñas diferencias para ambos fertilizantes comercializables. Resultados de selección en figura 2.

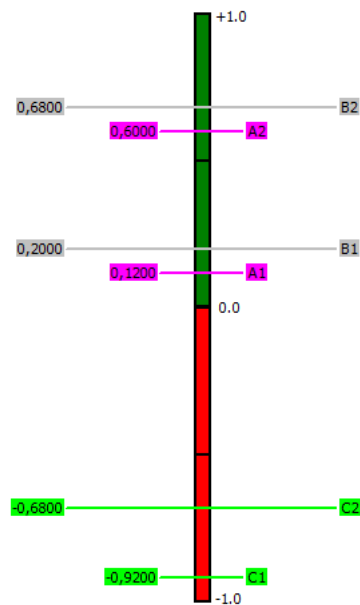


Figura 2. Ranking de selección Promethee para las distintas tecnologías en la producción de fertilizante órgano mineral.

## CONCLUSIONES

En relación a la venta de digestato, como enmienda o cómo fertilizante órgano-mineral, se concluye:

- ❖ La enmienda tiene bajos contenidos de nitrógeno y potasio, además de una baja tasa de liberación de nutrientes al suelo, dada por la velocidad de mineralización y por el contenido de materia orgánica, cuya degradación demanda nutrientes que son secuestrados por los microorganismos.
- ❖ Para el caso del nitrógeno, se debería esperar una disponibilidad como mucho del 50% del nitrógeno el primer año, y 19% el segundo año, hasta entregarlo totalmente al año 7 a 9. Por ello, subir la dosis de la enmienda para compensar el bajo contenido de nutrientes no soluciona totalmente el problema, sobre todo en los primeros meses luego de la aplicación al suelo.
- ❖ Por otra parte, tampoco puede subirse la dosis con facilidad, puesto que la baja concentración de nutrientes obliga al transporte de grandes volúmenes de enmienda, lo que implica altos costos. Al respecto, el peletizado es una buena opción tanto para la enmienda como para el

fertilizante órgano mineral, ya que disminuye el volumen vía compresión. Además, mejora en concentración, homogeneidad, facilidad y precisión en su aplicación.

- ❖ La opción enmienda posee buenas características para el mercado B2C y funcionaría como un buen "starter", es decir, un fertilizante para elevar los niveles nutricionales base del suelo.
- ❖ En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, el fertilizante órgano-mineral sería una buena solución, pues, además de la enmienda, contiene nutrientes rápidamente mineralizables (nitrógeno amoniacal), por lo que la curva de liberación al suelo del fertilizante sería más cercana a la curva de demanda de nutrientes del cultivo.
- ❖ Por lo anterior, el fertilizante órgano-mineral es la opción más apropiada para el mercado B2B, considerando buenos niveles base de fertilidad en los suelos, por lo que el fertilizante estaría enfocado en el cultivo, y no en la corrección del suelo.

En relación a las alternativas tecnológicas, al evaluar las 3 alternativas propuestas, se concluye:

- ❖ El análisis técnico-ambiental se basó en conceptos dirigidos a la eficiencia energética, huella de carbono y recuperación de nutrientes. Al respecto son claves la factibilidad de uso del calor de cogeneración a partir de biogás, así como los sistemas de separación y depuración de las distintas fases del digestato. Estos temas tienen también directa relación con la componente económica, pese a que en los estudios financieros no se hayan considerado directamente, razón por la que se abordan en este informe en forma preliminar.
- ❖ Desde un punto de vista técnico-ambiental (eficiencia energética y de gestión de nutrientes), se ratifica que la empresa B sería la mejor alternativa, seguida por la empresa A.
- ❖ Desde un punto de vista económico, incluyendo los indicadores financieros TIR, VAN, PRI, así como el margen de costos de operación, la empresa A sería la mejor alternativa, seguida por la empresa B. Mientras que la alternativa C, sería

la peor evaluada tanto en términos técnicos como económicos.

- ❖ Al utilizar una ponderación multicriterio (interdisciplinaria), se obtiene que la mejor de las 3 opciones, sería la empresa B.

## **BIBLIOGRAFÍA**

[1] Belton, V., Stewart, T. 2002. Multiple criteria decision analysis. An integrated approach. Kluwer Academic Publishers.

[2] Biogas e.V. Germany, 2018. Digestate as Fertilizer. Fachverband: 5-11. Available at: [https://issuu.com/fachverband.biogas/docs/digestate\\_as\\_fertilizer](https://issuu.com/fachverband.biogas/docs/digestate_as_fertilizer)

[3] Brans. J.P., Vincke, P., Mareschal, B. 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE Method. European Journal of Operational Research 24, 228-238.

[4] Głowacka, A., Szostak, B and Klebaniuk, R. 2020. Effect of Biogas Digestate and Mineral Fertilisation on the Soil Properties and Yield and Nutritional Value of Switchgrass Forage. Department of Plant

Cultivation Technology and Commodity, University of Life Sciences in Lublin. Available at: [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com)

[5] Lichti, F., 2012. Bewertung und Optimierung der Nährstoff und Umweltwirkung von Gärrückständen aus der Biogas gewinnung. PhD Thesis, Weinhenstefan. Technische Universität München, Germany

[6] Kaletnik, G., Honcharuk, I., Okhota, Yu. (2020). The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. Journal of Environmental Management and Tourism, (Volume XI, Summer), 3(43): 513-522. DOI:10.14505/jemt.v11.3(43).02