

Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería:

Utilización de Orujo agotado para la producción de biogás

María Elisa Indiveri⁽¹⁾⁽²⁾, Sebastián Pérez⁽¹⁾⁽²⁾, Nehuén Angileri⁽²⁾, Carina Maroto⁽²⁾

⁽¹⁾ Centro de Estudio de Ingeniería en Residuos Sólidos (CEIRS) – Instituto de Medio Ambiente
– Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500,
Mendoza, Argentina. elisaindiveri@gmail.com, p.sebastianperez@gmail.com

⁽²⁾ Instituto de Energía – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500,
Mendoza, Argentina. angilerinehuen@gmail.com, carinamaroto@gmail.com

Resumen. El presente trabajo aborda el estudio de la degradación anaeróbica de orujo agotado, en términos energéticos, de producción de biogás, en condiciones mesofílicas mediante la utilización de líquido ruminal vacuno como inóculo. Se busca hacer hincapié en demostrar la potencialidad energética de estos recursos renovables y su posible impacto en la provincia de Mendoza. Estos recursos en la actualidad se encuentran subvalorados comercialmente y en muchos casos desechados. En la digestión anaeróbica de inóculo y orujo agotado como sustrato se obtuvo biogás con una composición media del 55% molar aproximadamente de metano, sin presencia de H₂S. Al adicionar un 23% másico de orujo al inóculo ruminal se obtuvo un incremento en el volumen de biogás del 120%. Secundariamente mejoró la energía obtenida por unidad de volumen, que además, superó la media del control. Se concluye que si se procesara todo el orujo agotado de la provincia de Mendoza, se podría generar energía como para abastecer 1.513 casas, mediante el biogás producido y 49 calderas industriales, mediante la energía generada con la combustión de la masa residual producida en los bioreactores.

Palabras Clave: biogás, digestión anaeróbica, orujo agotado, metano, inóculo ruminal.

1. Introducción

1.1. Biogás

La fermentación anaeróbica o la digestión anaerobia es un proceso, en el cual no se encuentra oxígeno en disolución. En este proceso los electrones equivalentes de materia orgánica se utilizan para reducir el carbono al estado de -4, este es un estado más reducido. El producto final es CH₄ (Metano). La materia orgánica es descompuesta en metano mediante bacterias de origen natural. El metano es poco soluble en agua y por lo tanto, abandona la fase líquida y es fácil de separar [1].

El poder calorífico del metano (210,8 kCal/mol ó 55 MJ/kg), el principal componente del biogás, es equivalente a 1,2 kg de gasóleo o 3,7 kg de madera. La producción total de biogás a través de la digestión anaerobia ha estado en un aumento constante en los últimos años [2].

1.2. Antecedentes

En Argentina se pueden citar experiencias como la provincia de Santa Fe, en donde la Universidad Nacional del Litoral ha colaborado en la construcción de digestores para el tratamiento de residuos y abastecimiento energético de casas, escuelas, comedores sociales, ONGs y pequeñas poblaciones [3].

En la Universidad Nacional de Cuyo, se comenzó a trabajar en este tema hace más de dos décadas, pero sin continuidad. Desde hace cuatro años, el Instituto de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería con el Instituto de Energía de la Universidad retomó las experiencias en producción de biogás.

El equipo de investigación, perteneciente a los institutos de la UNCuyo mencionados anteriormente ha desarrollado investigaciones y experiencias en el ámbito universitario sobre el manejo de residuos sólidos (urbanos y agroindustriales) y el aprovechamiento energético de los mismos. A su vez se trabaja en la transferencia del conocimiento mediante proyectos de construcción de biodigestores en dos escuelas técnicas agrarias [4].

1.3. Orujo

Argentina es el primer productor de vinos de Latinoamérica y el quinto mayor productor del mundo según la OIV [5].

Alrededor del 67,39% de la uva producida en la Argentina se cultiva en Mendoza [6]. Mendoza posee la mayor superficie cultivada con vides en la Argentina. Según el INV en el 2011 se registró una superficie cultivada de 217.750 hectáreas de vid. En el año 2011 se vinificaron en Mendoza 1.935 miles de toneladas de uva y el volumen total de vino elaborado fue de 1.463 millones de litros. Mendoza y San Juan representan el 92% de la superficie cultivada y el 86% del total de viñedos [7].

La región que abarca Mendoza y San Juan representa el 94,78 % del total de vinos y mostos elaborado en el país. Cuenta con 1.194 bodegas y fábricas de mostos inscriptas de las que 862 elaboraron en la cosecha 2009 [8].

El INV establece, mediante estudios estadísticos y enológicos, que el orujo representa el 8% de los kg de uva cosechada. Por lo tanto, se estarían generando en Mendoza 154,82 miles de toneladas de orujo, según las estadísticas del año 2011 del INV [9][10].

El orujo agotado es un residuo obtenido en la industria vitivinícola. Es uno de los principales desechos de las bodegas. Compuesto por el epicarpio de la baya de uva y la semilla. Obtenido luego del prensado de la uva o de la vinificación, en el caso de los vinos tintos.

El orujo es extraído de las bodegas y llevado a las destilerías en donde se realiza la extracción del alcohol remanente, el ácido tartárico y la semilla (pepita de uva) a la cual se le extrae el aceite. Luego de atravesar este proceso, el producto obtenido se denomina orujo agotado. Actualmente después de esta extracción, el orujo agotado se utiliza como enmienda orgánica en cultivos ya que el mismo actúa como mejorador de suelos. También para la obtención de energía térmica a través de su combustión en calderas. A veces, cuando no es factible de utilizar como fertilizante ni como combustible éste es dispuesto finalmente en el vertedero local.

1.4. Objetivos

El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la degradación anaeróbica del orujo agotado, en términos de producción de biogás, en condiciones mesofílicas.

2. Desarrollo experimental

2.1. Materiales y Métodos

2.1.1. Baño de agua termostatzado

Se utilizó un baño termostatzado marca Dalvo para mantener la temperatura de los ensayos a 37°C. El mismo está compuesto por: un recipiente de acero inoxidable 304L; 3 resistencias blindadas de inmersión de acero inoxidable de 1500 W; una válvula flotante; un termostato; aislación envolvente de lana de vidrio; soportes mecánicos conformados de acero inoxidable 304L.

2.1.2. Reactores

La degradación anaeróbica fue realizada en reactores cilindricos de acero inoxidable AISI 316L de 4 l de capacidad con cierre bridado con junta intermedia de EPDM, con 1 válvula de venteo de tipo esférica.

Los mismos fueron dispuestos en el baño termostatzado. No se utilizó ningún dispositivo de agitación. Los reactores fueron agitados con movimientos circulares cada vez que fue medida la presión de gas.

2.1.3. Sistema de medición

La medición de volumen de gas generado se realizó indirectamente mediante la lectura de la presión en cada reactor. Se utilizaron manómetros analógicos marca Beyca, sin glicerina, de 0,02 kg/cm² de sensibilidad, con rango de 0 a 1 kg/cm² y presión máxima de 4 kg/cm².

2.1.4. Sustrato

Como sustrato se utilizó orujo agotado de uva obtenido de la empresa Derivados Vínicos S.A., una destilería local.

2.1.5. Inóculo

Se trabajó en la obtención de un inóculo adecuado para el ensayo. Para este fin se analizaron distintas muestras de líquidos provenientes de la digestión ruminal de vacunos. Ésta es un proceso dinámico relacionado a la ingestión y deglución del alimento (ingesta) y la salida de líquido, bacterias y alimentos residuales no digeridos [11]. El líquido ruminal vacuno fue donado por mataderos locales de la empresa Vildoza SA.

2.1.6. Caracterización del sustrato e inóculo

En la digestión anaeróbica, el sustrato a utilizar es uno de los factores más importantes para determinar la cantidad de biogás que se va a generar.

Para conocer la carga con la cual se trabajará durante la experiencia se determinó analíticamente la cantidad de sólidos totales presentes en el sustrato y en el inóculo utilizado, y sus respectivas densidades.

Se midió la densidad del orujo mediante método picnométrico.

2.1.7. Determinación de Sólidos Secos y Volátiles

La determinación de sólidos secos y volátiles se realizó según métodos normalizados.

Estos cálculos son de suma importancia ya que determinan la proporción de sustrato que llevarán los digestores.

2.1.8. Diseño Experimental

El experimento contó con dos tratamientos triplicados:

Serie 1, Blanco de Inóculo: Los reactores fueron cargados exclusivamente con líquido ruminal para medir el biogás producido por el inóculo solo.

Serie 2, Orujo: Los reactores fueron cargados con orujo e inóculo para medir la cantidad de biogás producida por estos dos componentes.

Los biodigestores quedaron cargados de la siguiente manera:

Tabla 1. Especificación de carga másica.

N° Reactor	Nombre Reactor	Masa Inóculo [kg]	Masa Orujo [kg]	% TS [kg s. Seco/kg sólido]
1.A – 1.B – 1.C	Blanco Inóculo	1,6	0,0000	1,3
2.A – 2.B – 2.C	Orujo	1,6	0,4880	14,8

2.1.9. Metodología para la carga

Los reactores anaeróbicos trabajan con una cantidad de inóculo que provee los microorganismos suficientes para digerir al sustrato, produciendo biogás. Por este

motivo se debe dejar volumen en el recipiente para alojar este gas. Aproximadamente se dejó un 50% del volumen total del reactor disponible para el biogás y el otro 50% para la digestión de la fase semilíquida.

Dentro del volumen de digestión, la relación entre el inóculo y el sustrato fue de 80/20, es decir un 80% de la carga fue inóculo y el 20% restante sustrato.

Se tomaron los volúmenes calculados de orujo e inóculo correspondientes a cada tratamiento y se incorporaron dentro de los reactores. En el caso del inóculo se utilizó agua de red para completar el volumen a 2 l.

En el tratamiento del orujo se buscó mantener la concentración de sólidos totales en un rango de 10-15% aproximadamente. Los sólidos totales son un parámetro de gran importancia ya que en este rango se puede desarrollar de manera eficaz el crecimiento microbiano [13].

2.1.10. Mediciones de biogás

El volumen de gas fue medido indirectamente registrando la presión en cada reactor. Luego el biogás fue quemado en un mechero para evaluar presencia de metano y para evitar malos olores.

Periódicamente se le realizaron determinaciones cromatográficas para conocer la naturaleza y cantidad de los gases que componen a este biogás, con el fin de poder calcular el poder calorífico que contenían dichos gases. Las determinaciones cromatográficas arrojaron los resultados en %molar.

Antes de determinar el volumen total se consideró el gas en la idealidad y se lo comparó con el gas en condiciones reales. Para ello se determinó el volumen del gas obtenido por la ecuación de estado de los gases ideales y por la ecuación de Peng Robinson. Mediante la ecuación de estado de los gases ideales se calculó el volumen de gas obtenido.

Ecuación de Estado

$$PV = nRT \quad (1)$$

Dónde:

- P es la presión medida en cada reactor.
- V es el volumen libre en el reactor que ocupa el gas.
- n es la cantidad de moles del gas presente.
- T es la temperatura absoluta del gas, en este caso la temperatura se mantuvo constante en el baño termostático a 309,15 K, o sea 37°C.
- R es la constante universal de los gases, cuyo valor es $0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

A partir de la ecuación 1 se despejó n, el número de moles producidos. Luego este valor se convirtió a litros producidos en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) resultando el volumen de gas producido en litros normalizados, a 1 atm y 273 K.

Mediante la ecuación de Peng Robinson se iteró con distintos volúmenes, partiendo del volumen obtenido como gas ideal, hasta lograr la presión parcial de cada componente, obtenida mediante la ecuación de Dalton.

Ecuación de Dalton

$$p_i = P \cdot y \quad (2)$$

Dónde:

- p_i es la presión parcial del gas.
- P es la presión total medida.
- y es la fracción molar de cada componente gaseoso.

Ecuación de Peng Robinson

$$p_i = \frac{R \cdot T}{(V - b)} - \frac{a}{(V + b)V + b(V - b)} \quad (3)$$

Dónde:

- $a = 0,45724 \frac{R^2 \cdot T_c^2 \cdot \alpha^2(T)}{P_c}$
- $b = 0,0778 \frac{R \cdot T_c}{P_c}$
- $\alpha = 1 + m(1 - \sqrt{T_r})$
- $T_r = \frac{T}{T_c}$
- $m = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2$
- $T = 310 \text{ K}$

Tabla 2. Constantes de los compuestos

Componentes	ω	P_c	T_c
CH ₄	0,0114984	46,4068	-82,451
CO ₂	0,23894	73,7	30,95
H ₂ S	0,081	90,0779	100,45
N ₂	0,03999	33,9437	-146,956
H ₂	-0,12009	13,155	-239,71

Posteriormente se calculó el volumen total acumulado. La acumulación de gas se llevó a cabo en el espacio que quedó libre en cada reactor. Esta cámara tiene un volumen de 2 litros el cual se venteó periódicamente. Luego de cada venteo se alojan otros 2 litros nuevamente, este gas se alojó en condiciones particulares por lo cual el volumen total en condiciones normales (CNPT) es la suma de los volúmenes producidos, en condiciones particulares y expresados en CNPT.

2.1.11. Mediciones de calidad de biogás

Gracias al convenio que mantiene la UNCuyo con la empresa YPF SA se pudieron realizar las determinaciones de la composición de los gases.

Los ensayos se realizaron bajo el método UOP 539/87 en cromatógrafo (LB417) HP 5890 Serie II. Este cuenta con detector FID y 2 columnas cromatográficas [14].

Columna N°1 – Sebaconitrili ON PAW 80/100 Mesh 1 Molecular Sieve 13x45/60 mesh

Determina H₂ con N₂ como gas carrier.

Columna N°2 – Porapak Q 80/100 Mesh

Determina Hidrocarburos con He como carrier.

El equipo ha sido calibrado con un patrón CIL 124351-1.

La determinación de H₂S se llevó a cabo con un kit DrägerRöhrchen con límite de detección de 100-2000ppm de H₂S para 100 ml de muestra. En este caso empleamos una modificación validada a este método empleando 10ml de gas como muestra y su resultado fue multiplicado por diez. Se debió recurrir a este método alternativo por no contar con el suficiente volumen de muestra en el momento de la determinación.

2.1.12. Cálculo Energético del biogás

El cálculo energético se realizó conociendo la presión acumulada de cada reactor. Aplicando la ecuación (1), se calculó la cantidad de moles de gas producido.

El ensayo consistió en un periodo de 63 días debido al calendario de trabajos del laboratorio. Éste se dividió en 3 etapas, al término de cada una de ellas se determinó la composición de los gases cromatográficamente. Con la cantidad molar de cada uno de los gases determinados y su correspondiente poder calorífico se calculó el contenido calórico total de cada etapa, según las ecuaciones siguientes. La suma de las tres etapas arroja el contenido calórico total del biogás generado.

$$Q_{total} = Q_{et1} + Q_{et2} + Q_{et3} \quad (4)$$

$$Q_{et1} = n_{CH_4} * Q_{CH_4(molar)} + n_{H_2} * Q_{H_2(molar)} \quad (5)$$

$$Q_{et1} = \frac{P_{ac1} * V}{R * T} * \%molar_{et1CH_4} * Q_{CH_4(molar)} * 100 + \quad (6)$$

$$\frac{P_{ac1} * V}{R * T} * \%molar_{et1H_2} * Q_{H_2(molar)} * 100$$

P_{ac1} = Presión acumulada durante la etapa 1 (en atm)

V = Volumen que ocupa el biogás, 2 L

R = Constante Universal de los gases $0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

$\% \text{molar}_{et1CH_4}$ = cantidad molar de Metano registrado cromatográficamente al final de la etapa 1

$$Q_{CH_4(\text{molar})} = 210,8 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \quad [15]$$

$\% \text{molar}_{et1H_2}$ = cantidad molar de Hidrógeno registrado cromatográficamente al final de la etapa 1.

$$Q_{H_2(\text{molar})} = 29,15 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \quad [16]$$

Para las demás etapas el cálculo se desarrolló de la misma manera y posteriormente se calculó la energía total generada.

2.1.13. Cálculo Energético de la masa residual

Luego del tratamiento experimental se recaudó la masa que quedó en cada bioreactor. Se comparó con la cantidad de masa colocada al principio de la experiencia y se le determinó el poder calorífico.

La determinación de poder calorífico se hizo mediante el método ASTM D 240 [17]. Los instrumentos utilizados fueron:

- Balanza Analítica A&D HR 20
- Calorímetro Manual Marca PARR Modelo 1341 EE con su bomba Calorimétrica.

3. Resultados

3.1. Caracterización de sustrato inóculo y glicerina.

Mediante las determinaciones previamente explicadas se pudo cuantificar la densidad y la cantidad de sólidos totales y volátiles en el orujo y el líquido ruminal.

Tabla 3. Características del sustrato y cosustrato.

Nº	Contenido	Densidad (g/ml)	SV%	ST%
1	Inóculo	1,0012	48,1	0,014
2	Orujo	1,2206	91,45	0,586

3.2. Producción de Biogás

En esta sección se presentan los resultados de producción de biogás en el ensayo. En la figura 1 se observa la media del registro de las presiones de cada serie ensayada. Observando el comportamiento de la serie que contiene orujo, se aprecia un gran incremento en el ritmo de producción de biogás a partir del día 10. La serie 1 siguió el mismo comportamiento pero a una tasa menor de crecimiento a lo largo del experimento.

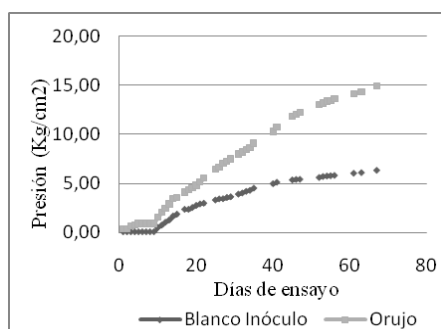


Fig.1. - Registro de presiones acumuladas

Tabla 4. Presiones Acumuladas.

Ensayo	Presiones acumuladas [Kg/cm2]
M1 (Media)	6,12
M2 (Media)	14,32

En esta tabla se pueden observar las presiones acumuladas a lo largo de los 63 días de ensayo. Se observa que la cantidad media de gas producido por la serie que contiene orujo como sustrato es 2,34 veces mayor que la que no lo tiene.

3.3. Comparación de comportamiento Real vs Ideal.

Mediante el uso de la ecuación de estado para gases ideales y la ecuación de Peng Robinson se determina el volumen de gas promedio obtenido en las serie 2. Este gas tendría una composición promedio entre los obtenidos en los reactores 2 A, 2 B y 2 C, de acuerdo a las 3 cromatografías realizadas a lo largo del ensayo, durante los 63 días de acumulación.

El promedio de la composición de los gases de las repeticiones de cada tratamiento arroja una composición molar como se observa en la Tabla 5. Se utilizó una presión de cálculo de 2 atm a los fines de comparar su comportamiento.

Tabla 5. Comparación V(ideal) vs. V(Real).

Comp.	%molar	V(ideal)	V(real)	Error
CH ₄	54,526%	23,310	23,260	0,215%
CO ₂	41,824%	30,389	30,265	0,411%
H ₂ S	0%	0	0	0,000%
N ₂	1,24%	1025	1025	0,000%
H ₂	0%	0,000	0	0,000%

Según esta comparación el error no supera el 0,5% por lo cual se considerará el biogás como gas ideal, durante todos los cálculos.

3.4. Cálculo del Volumen del gas acumulado.

Según las presiones registradas en cada venteo, y la temperatura, manteniendo el volumen constante en la cámara, se obtuvieron los volúmenes de la tabla 6. Bajo la metodología explicada en la sección 2.1.10.

Tabla 6. Volúmenes producidos.

Ensayo	Volumen Producido [Nm ³]
M1 (Media)	0,01410
M2 (Media)	0,02738

3.5. Caracterización del gas obtenido.

Mediante las cromatografías realizadas durante las 3 fases del experimento se determinaron las composiciones molares de cada uno de los gases generados según 2.1.11. De cada serie se calculó el promedio de las composiciones del gas en cada una de las 3 fases y luego se obtuvo el promedio de las composiciones de dichas fases.

$$\%molarpromedio = \frac{\%molar_{et1} + \%molar_{et2} + \%molar_{et3}}{3} \quad (7)$$

Tabla 7. Caracterización de los gases promedios.

Comp.	Unidades	Gas Inóculo (Serie 1)	Gas Orujo (Serie 2)	Especificaciones
H ₂	%molar	0	0	0,5
N ₂	%molar	4,859	1,240	0,01-5
CH ₄	%molar	54,526	54,526	45-75
CO ₂	%molar	33,374	41,824	25-55
H ₂ S	ppm	333	0	10-30000

Los gases promedio se los compara en la tabla 7 con un gas de referencia, el cual fue obtenido mediante un sustrato de efluentes agroindustriales por Dieter Deublein [18].

3.6. Cálculo Energético del gas obtenido

Se calculó la energía del gas generado según el punto 2.1.12.

Se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 8. Cálculo Energético por etapas y total.

Ensayo	Q 1ra Etapa [kCal]	Q 2da Etapa [kCal]	Q 3ra Etapa [kCal]	Q Total [kCal]
M1 (Media)	6,72	31,56	32,46	70,74
M2 (Media)	20,79	56,49	84,97	162,24

Según se observa en los resultados de las tablas, la producción media de biogás en la serie que contuvo orujo (M2) produjo una cantidad de energía mucho mayor que la otra serie (M1).

De acuerdo a estos valores, la cantidad de energía (promedio) producida por el inóculo es de 70,74 kCal y la del inóculo con orujo como sustrato es de 162,24 kCal.

Se observa que el aporte de 0,488 kg de orujo incrementa la energía obtenida en 91,5 kCal. Entonces la energía másica del orujo agotado es 187,5 kCal /kg.

La energía media obtenida se convierte a unidades de kWh y se la relaciona con el volumen producido (tabla 6) a fin de poder compararla con un gas de referencia, obtenido con efluentes agrícolas como sustrato [19].

Los resultados se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9. Energía específica obtenida.

Tratamiento	Volumen Producido [Nm ³]	Energía Obtenida [kCal]	Energía Específica [kWh/Nm ³]	E. E. de referencia [kWh/Nm ³]
M1 (Media)	0,01410	70,74	7,28	5,5 a 8,2
M2 (Media)	0,02738	162,24	7,67	

3.7. Cálculo Energético del residuo.

Luego de las 3 fases del experimento se abren los reactores y se extraen los líquidos residuales de las 2 series ensayadas a fin de determinar sus poderes caloríficos.

La serie 1 no posee contenido calórico, ya que los sólidos totales son despreciables.

La serie 2 presentó un poder calorífico significativo con el cual se determinó la energía específica y la energía total generada por la cantidad de masa que contenían los reactores, y sus medias.

Tabla 10. Energía producida por los residuos.

Tratamiento	Energía Obtenida [kCal]	Poder calorífico [kCal/kg]	Masa residual [kg SS]
M1 (Media)	0	0	0,0224
M2 (Media)	1475,45	4784,67	0,30837

3.8. Aporte a la matriz energética provincial

3.8.1. Aporte energético del biogás producido.

El orujo degradado anaeróbicamente en las condiciones anteriormente mencionadas, produce biogás con una energía másica del orujo agotado de 187,5 kCal/kg.

Teniendo en cuenta que según el INV la disponibilidad de orujo es de 154.823.241 kg y que el consumo de gas natural cuyo poder calorífico es 9300 kCal/m³ en una vivienda tipo en Mendoza es de 100 m³/mes, es decir una demanda de 11.160.000 kCal anuales [20] [21] [22].

$$\begin{aligned} \text{Demanda energética por vivienda} &= 100 \frac{\text{m}^3}{\text{mes} \times \text{vivienda}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} * 9300 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \\ \text{Demanda energética por vivienda} &= 1,11 \times 10^7 \frac{\text{Kcal}}{\text{vivienda}} \end{aligned} \quad (8)$$

Según informó DERVIN S.A. la relación entre el orujo agotado y fresco es de 0,58. Por lo cual la disponibilidad energética es de:

$$\begin{aligned} \text{Demanda} &= 154.823.241 \text{Kg}_{\text{orujo}} \times 0,58 \frac{\text{Kg}_{\text{orujo agotado}}}{\text{Kg}_{\text{orujo fresco}}} \times 187,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{orujo}}} \\ \text{energética} & \\ \text{Demanda} &= 1,68 \times 10^{10} \text{Kcal} \\ \text{energética} & \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Viviendas} = \frac{\text{Disponibilidad energética}}{\text{Demanda energética}} = \frac{1,68 \times 10^{10} \text{Kcal}}{1,11 \times 10^7 \frac{\text{Kcal}}{\text{vivienda}}} \quad (10)$$

$$\text{Viviendas} = 1513 \text{ Viviendas}$$

Entonces mediante un cálculo matemático se observa que se podrían abastecer con biogás 1513 viviendas anualmente reemplazando el uso de gas natural.

3.8.2. Aporte energético de la masa residual.

De acuerdo a las determinaciones realizadas bajo la metodología descrita en 2.1.13 el poder calorífico de esta masa residual es de 4784,67 kCal/kg.

Si consideramos una disponibilidad de orujo fresco de 154.823.241 kg, teniendo en cuenta una relación fresco/seco de 0,58, se obtienen 89797479,78 kg de orujo seco a procesar.

De este orujo se obtiene la misma cantidad de kg de masa residual, por lo cual se puede obtener la siguiente energía:

$$\begin{aligned} \text{Energía Disp} &= 89797479,78 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \times 4784,67 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 4,30 \times 10^{11} \frac{\text{Kcal}}{\text{año}} \\ \text{Masa residual} & \end{aligned} \quad (11)$$

Esta energía puede ser utilizada en calderas de biomasa, primero deben pelletizarse y posteriormente se utiliza como combustible.

Se toma como referencia una caldera industrial, que se puede utilizar en invernaderos, secaderos de frutas, avícolas y otras industrias de la región. La caldera seleccionada es de la marca “ecobiotermica” modelo TRMH-1000, la cual tiene una capacidad de 1.000.000 kCal/h [23].

Teniendo en cuenta su capacidad, considerando un rendimiento del 100% y la energía disponible; se calcula la cantidad de calderas a suministrar energéticamente con la masa residual obtenida:

$$\text{Calderas} = \frac{4,30 \times 10^{11} \frac{\text{Kcal}}{\text{año}}}{8,76 \times 10^9 \frac{\text{Kcal}}{\text{año} \times \text{caldera}}} = 49 \text{ calderas} \quad (12)$$

4. Conclusiones

A partir de una digestión anaeróbica de inóculo solo se obtuvieron 0,01410 m³ de biogás, con una composición de CH₄=54,526 %molar; CO₂=33,374 %molar; N₂=4,859 %molar, H₂S=0,311 %molar y el resto fueron componentes no detectados en la cromatografía gaseosa.

Mientras que en la digestión anaeróbica de inóculo y orujo agotado como sustrato se obtuvieron 0,02738 m³ de biogás, con una composición de CH₄=54,526 %molar; CO₂=41,824 %molar; N₂=1,24 %molar, no se generó H₂S y el resto fueron componentes que no se detectaron en la cromatografía gaseosa.

Es decir, con orujo como sustrato se obtuvo más del doble de volumen, con composiciones semejantes y además no se generó H₂S.

Las características energéticas son semejantes, ya que la energía volumétrica obtenida en el gas producido con inóculo más orujo fue levemente mayor.

Al adicionar un 23% másico de orujo al inóculo ruminal se obtuvo un incremento en el volumen de biogás del 120%. Secundariamente mejoró la energía volumétrica, que además, superó la media de referencia.

En relación con la disponibilidad de orujo en la provincia de Mendoza se concluye que si se procesara todo el orujo agotado se podría generar energía como para abastecer 1513 casas mediante el biogás producido y 49 calderas industriales, mediante la energía generada con la combustión de la masa residual producida en los bioreactores.

Agradecimientos

A los profesores orientadores, MSc. Llamas e Ing. Jorge Fuentes Berazategui quienes contribuyen diariamente con sus conocimientos y experiencias para nuestra formación integral como futuros profesionales en el ámbito científico tecnológico.

Al Técnico Químico César Cáceres, Jefe Sección Cromatografía - Laboratorio Complejo Industrial Luján de Cuyo – YPF S.A, Mendoza, Argentina.

Al Ing. Roberto Peral, Ingeniería de Procesos, Derivados Vínicos S.A.

Al Sr. Rubén Arévalo, Encargado Planta Piloto de Biodiesel – UNCuyo.

A las siguientes dependencias académicas y sus profesionales, que colaboraron en aspectos técnicos-operativos:

Centro de Estudio de Ingeniería en Residuos Sólidos (CEIRS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO).

<https://fing.uncu.edu.ar/Investigacion/institutos/ima/ceirs/centro-de-estudios-de-ingenieria-de-residuos-solidos>

Grupo a-Oil, Laboratorio a-Oil, Institutos Multidisciplinarios (IMD) de la UNCUYO. <https://algae-oil.com.ar/>

Instituto de Energía (IDE) - IMD - UNCUYO.

<http://www.imd.uncu.edu.ar/paginas/index/energia>

Laboratorio de Análisis Químico de la Dirección de Estudios Tecnológicos e Investigaciones (DETI) de la Facultad de Ingeniería de la UNCUYO.

Referencias

- [1] Rittman, Bruce E., y Perry L. Mc Carty. Biotecnología del medio ambiente, principios y aplicaciones. España: McGraw-Hill Interamericana de España, 2001.
- [2] M.F. Demirbas a, Mustafa Balat b. “Avances recientes en la producción y tendencias de utilización” (en inglés) Conversión de energía y manejo, (en inglés) 2006
- [3] Groppe, E., y O Giampaoli. El Camino de la Biodigestión. Santa Fé: UNL-Proteger, 2007.
- [4] Atem, A.D., Indiveri M.E., Llamas S. “Almacenamiento de biomasa para el mayor uso de la energía en la producción de Biogás” Revista internacional de la energía del Hidrógeno (en inglés) 2010: 6048-6051 .
- [5] OIV. Situación del sector vitivinícola. Estadísticas vitivinícolas anuales., Francia: OIV, 2007.
- [6] INV. «REGISTRO DE VIÑEDOS Y SUPERFICIE» Anuario de Cosecha, 2010.
- [7], [20] INV, Departamento de Estadística y Estudios de Mercado. Estadísticas Cosecha 2011 - Form. CEC/05 CIU FORM 1814 CEC-04. Anuario, Mendoza: INV, 2011.
- [8],[10] INV, Instituto Nacional de Vitivinicultura. Informe de Cosecha. Estadística Anual, Mendoza: INV, 2010.
- [9] Anzorena, Ing. Agr. Carlos. Nota N°001 - D.P. y C.T./97. Nota, Mendoza: INV, 1997.
- [11] Kamande, MBA Ph.D. George M. «Digestión Ruminal y Nutrición.» Congreso de Forrajes, 2006.
- [12] APHA-AWWA-WPCF. Métodos Normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Díaz de Santos S.A., 1992.
- [13] Foster-Carniero T., Pérez M., Romero L.I. “Influencia del contenido de sólidos totales e inóculo en el rendimiento de reactores anaerobios para el tratamiento de residuos de comedor” , Tecnología en Biorecursos (en inglés), 2008: 6994-7002.
- [14] UOP, ASTM /. Análisis de gas refinados mediante cromatografía de gas. ASTM, 2002.
- [15], [16] Blas, Dr. Luis. Agenda del Químico. Madrid: Aguilar, 1963.
- [17] ASTM. ASTM D240 - Método de prueba estándar para el calor de combustión de hidrocarburos líquidos mediante bomba calorimétrica. Normas Estandarizadas internacionales., ASTM, 2009.
- [18], [19] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser. Biogás a partir de residuos y recursos renovables (en inglés), Alemania: Wiley-VCH, 2008.
- [21] ENARGAS. Informe Anual de Gas entregado por área de licencia. Anuario, Buenos Aires: Enargas, 2010.
- [22] Mitchell, Jorge Alberto. Consumo de energía para calefacción en el hábitat social de Mendoza: Un caso de estudio. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Mendoza: Asades, 2005.
- [23] Ecobiotermica. Calderas de biomasa. Catálogo Industrial, Albacete, España: Ecobiotermica, s.f.