

Recibido 13 Septiembre 2019. Aceptado 11 Diciembre 2019. Publicado 20 Diciembre 2019.

ISSN 2448-7775

Digestión y co-digestión anaerobia de la excreta de conejo para la producción de biogás

GERARDO PÉREZ MEZA¹, BRIAN IVÁN CRESPO MARES², GRACIELA MA. DE LA LUZ RUIZ AGUILAR³, ROGELIO COSTILLA SALAZAR⁴, VICENTE JAVIER ÁLVAREZ VILLAFANÍA⁵, JUAN HUMBERTO MARTÍNEZ MARTÍNEZ^{6,*}

^{1,6} Departamento de Ingeniería en Energías Renovables, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo
^{2,3,4,5} División de Ciencias de la Vida, campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato
perez.240197@gmail.com
ivanm5996@hotmail.com
juan.martinez@tecabasolo.edu.mx (*Autor de correspondencia)

RESUMEN El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la adición de la excreta de borrego, residuos de nopal y lirio acuático como co-sustratos en la digestión anaerobia de la excreta de conejo para la producción de biogás, con la finalidad de elegir los co-sustratos con mejores rendimientos y reevaluar la experimentación variando las cargas orgánicas en función de las propiedades físico-químicas de cada uno de los co-sustratos utilizados. Las evaluaciones realizadas muestran incrementos en la producción de biogás durante la co-digestión de la excreta de conejo, por ejemplo, en la co-digestión de la excreta de conejo con excreta de ovino en una relación 100-73 p/p, se encontró un rendimiento máximo de 739.50 mlBiogás/gSV en un TRH de 112 días, a 37°C, a diferencia de la digestión única de la excreta de conejo, de 172.26 mlBiogás/gSV en un TRH de 112 días, a 37°C.

PALABRAS CLAVE – Digestión, co-digestión, biogás, relación carbono-nitrógeno.

I. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de combustibles fósiles para la generación de energía es una gran preocupación para los problemas medioambientales que se enfrentan hoy en día, no solo por el dióxido de carbono (CO₂) emitido, sino por los desechos y subproductos que dañan constantemente los suelos, mares y aire a nivel global. Adicional a los problemas ya existentes, los desechos industriales, agroindustriales y ganaderos suelen causar un impacto negativo al medio ambiente, ya que los residuos sólidos en aglomeración suelen causar gases de efecto invernadero, uno de ellos el gas metano (CH₄) que contamina veintiún veces más que el CO₂. Una medida mitigante para la disposición de los residuos sólidos es emplear una tecnología que permita aprovechar la biomasa para generación de energías alternativas, una de ellas es el biogás. Países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá y Reino Unido han desarrollado tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de

energía eléctrica y aunque su participación en la producción mundial aún es pequeña, estas energías representan una opción para el suministro eléctrico mundial. Las energías renovables (ER) son precursoras del desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías, de la creación de empleo, de la conservación de recursos energéticos no renovables, de la reducción de la dependencia de energéticos importados mediante el aprovechamiento energético de los recursos locales y la reducción de gases de efecto invernadero [1].

La generación de biogás puede producirse de manera natural, en el medio ambiente, ya sea en pantanos, grandes concentraciones de desechos, en rumen de los animales, etc. Se genera mediante una fermentación anaerobia en ausencia de oxígeno donde se produce el llamado biogás que está formado principalmente de CH₄ (50-75 Vol. %) y CO₂ (25-30 Vol. %). También contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, vapor de agua y otros gases traza [2]. Prácticamente toda materia orgánica es

capaz de generar biogás, la calidad y cantidad de biogás producido depende de una serie de factores tales como el control de temperatura, concentración de carga orgánica, pH del medio, etc. Un factor importante para la producción de biogás es la relación carbono-nitrógeno (C/N), ya que en temas de digestión anaerobia los sustratos con alto contenido de carbono superior a 35:1, ocurre lentamente por bajo desarrollo de bacterias, por falta de nitrógeno. En cambio, los sustratos que contiene una relación C/N menor a 8:1 se llega a inhibir la actividad bacteriana por un exceso en la formación de amonio [3]. Este fenómeno sucede porque las bacterias metanogénicas consumen alrededor de 25 a 30 veces más carbono que nitrógeno, por este motivo para que un proceso anaerobio sea adecuado la relación C/N debe rondar alrededor de 25:1.

Existe una serie de sustratos con la característica de tener una relación C/N inferior a la adecuada, uno de ellos es la excreta del sector cunícola, este sustrato también suele ser generado de manera moderada, ya que una hembra gestante, no lactante y macho en actividad generan alrededor de 70-75 gr de excreta al día, una hembra lactante y su camada generan unos 180 gr de excreta al día y un gazapo de engorda generan en un periodo de 70 días (día de sacrificio) alrededor de 40- 50 gr de excreta al día. En base a las cantidades mencionadas, una unidad de 100 madres que comprende hembras, machos y gazapos correspondientes hasta la edad de sacrificio, viene a excretar diariamente de 30 a 35 kilos de heces, es decir un promedio de 40 a 45 m³ de desechos por año [4]. De lo anterior puede partirse a la decisión de generar biogás por medio de la digestión anaerobia para el aprovechamiento de estos residuos, complementándolo con un medio de co-digestión que pueda incrementar los rendimientos y volúmenes acumulados de la producción de biogás para generación de energía renovable.

II. DESARROLLO

La presente investigación parte de la iniciativa de resolver la problemática de una granja cunícola del estado de Guanajuato ubicada en el municipio de Abasolo, debido a la preocupación del aprovechamiento de excretas generados, por lo que se empleó una metodología para evaluar la producción biológica de biogás con excreta de conejo, tomando en cuenta muestras con diferentes periodos de antigüedad, tales como muestras de un día, tres días y una semana y media de almacenamiento. Durante la evaluación se observaron una serie de factores, tales como el rendimiento de biogás, la combustión por cada una de las muestras y el tiempo de retención hidráulico (TRH), Analizando resultados se tomó la decisión de trabajar las digestiones con excreta de conejo de 1 día, debido a que fueron las que presentaron los mayores rendimientos, una mejor combustión y un TRH promedio de 80 días.

A partir de estos datos se realizaron una serie de digestiones y co-digestiones con diversos sustratos, tales como la excreta de ganado ovino, residuos de nopal y lirio acuático, finalmente se tomaron en consideración los mejores resultados de las co-digestiones y se reevaluaron las experimentaciones, variando la carga orgánica en función de sus propiedades físico-químicas para la realización de la co-digestión.

La recolecta de los de los co-sustratos se tomaron de lugares aledaños al municipio, tales como excreta de ovino, residuos de nopal y lirio acuático. Para los residuos de nopal y el lirio acuático se empleó un tratamiento mecánico para la reducción del tamaño de partícula (2mm aproximadamente). Una vez obtenidas las muestras se realizaron los cálculos necesarios para las co-digestiones y caracterizar las muestras, para obtener sólidos tóales (ST) y sólidos volátiles (SV), la caracterización se llevó a cabo por métodos estándares APHA. Finalmente, caracterizadas las muestras se llevó a cabo el proceso de co-digestión anaerobia operando reactores tipo batch de una capacidad de 120 ml, con un volumen de trabajo de 80 ml e inoculados al 20% de su volumen de trabajo, operando a un 7% ST. Los experimentos se realizaron a temperatura ambiente y temperatura controlada (37° C), esto con la finalidad de evaluar el rendimiento de la producción de biogás. Finalmente, se realiza la medición de biogás empleando el método de desplazamiento volumétrico, que consiste en llenar de agua una probeta graduada e introducir el biogás, el agua desplazada será el volumen de biogás producido.

Los resultados que se obtuvieron representaron rendimientos superiores en las co-digestiones de la excreta de conejo, por ejemplo, en la Fig. 1 se muestra la producción biológica de biogás de la excreta de conejo con co-sustratos de excreta de ovino, residuos de nopal y lirio acuático. La figura 1 muestra los rendimientos en unidad de masa, es decir ml_{Biogás}/gSV, representando la mayor producción para la pura excreta de conejo, siendo de 666.21 ml_{Biogás}/gSV en un tiempo de retención hidráulico de 80 días, cabe mencionar que aunque fue la que represento la mayor producción, tuvo un tiempo de latencia mayor (adaptación), mientras que los otros co-sustratos tuvieron un tiempo de latencia menor a los 15 días, adicional a ello los otros co-sustratos representaban una mayor inflamabilidad a la hora de quemar el biogás.

La misma cinética se replicó a temperatura controlada (37° C), donde se consiguió observar un comportamiento similar a la cinética evaluada a temperatura ambiente, siendo el mismo fenómeno en los rendimientos y tiempo de latencia, esta vez obteniendo un rendimiento de la excreta de conejo de 760.05 ml_{Biogás}/gSV (Fig. 2).

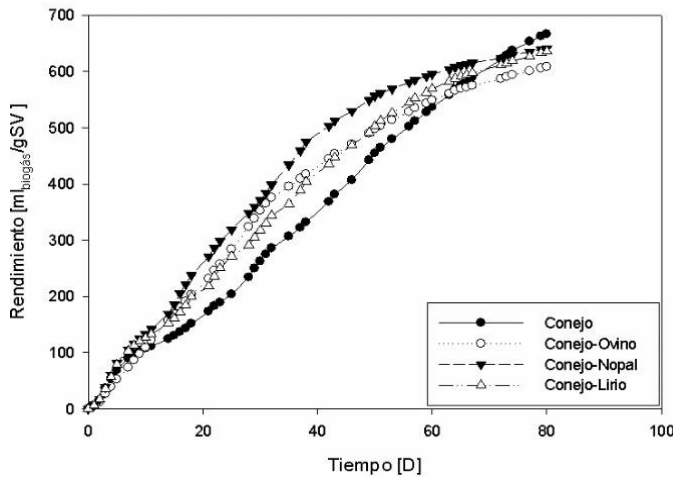


Fig. 1. Rendimiento Biogás, excreta de conejo con co-sustratos de excreta de ovino, residuos de nopal y lirio acuático a temperatura ambiente.

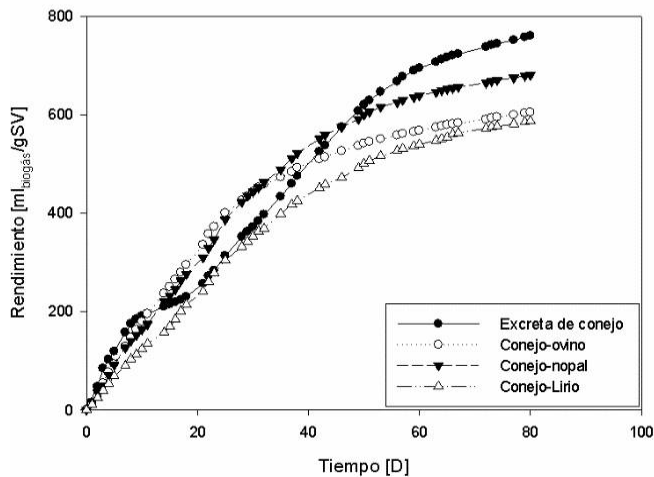


Fig. 2. Rendimiento Biogás, excreta de conejo con co-sustratos de excreta de ovino, residuos de nopal y lirio acuático a 37°C.

En función de los resultados obtenidos se tomó la decisión de tomar los dos mejores co-sustratos considerando para esto, la excreta de ovino y los residuos de nopal, pero en esta ocasión variando la carga orgánica en función de sus propiedades fisicoquímicas, es decir ajustando la relación C/N para la realización de la co-digestión.

En [3], demuestra la ecuación para realizar una correcta co-digestión, como se muestra en la Ec. (1).

$$k = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2 + \dots + C_n Q_n}{N_1 Q_1 + N_2 Q_2 + \dots + N_n Q_n} \quad (1)$$

Donde:

$K = C/N$ de la mezcla de materia primas.

$C =$ % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

$N =$ % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

$Q =$ peso fresco de cada materia, expresado en gr, kilos o toneladas.

En función a la Ec. (1) se realizaron iteraciones en el software Engineering Equation Solver (EES), donde se pudo ajustar el valor de “K” desde un valor de 24 hasta 29, con una base de 100 gr de excreta de conejo como sustrato fijo, permitiendo obtener diferentes pesos para los co-sustratos, siendo de 17, 32, 50 y 73 gr de excreta de obvino y de 7, 13, 19, 25, 33, 41, 50, 60, 71, y 83 gr de residuos de nopal, los valores de los co-sustratos se tomaron, considerando que no rebasara el peso del sustrato base (excreta de conejo), de lo contrario no sería co-sustrato.

Una vez hechos los cálculos correspondientes se reevaluó el proceso de digestión anaerobia tomando en cuenta los valores mencionados, de igual manera, las experimentaciones se evaluaron a temperatura ambiente y temperatura controlada (37 °C).

En la Fig. 3 se muestran los resultados de las co-digestiones a temperatura ambiente, variando la carga orgánica, siendo el mayor rendimiento de 696.83 ml_{Biogás}/gSV, en un TRH de 115 días, para la co-digestión de la excreta de conejo con residuos de nopal en una relación 100-25 y representando el menor rendimiento de 536.85 ml_{Biogás}/gSV, en un mismo TRH, la co-digestión de excreta de conejo con residuos de nopal en una relación 100-71. Los resultados obtenidos en la evaluación de estas co-digestiones, demostraron que el co-sustrato residuos de nopal tiene buena producción para evaluar la co-digestión, sin embargo, este co-sustrato tiene un mayor tiempo de latencia a diferencia del co-sustrato excreta de ovino, se puede observar de igual manera que el rendimiento más alto del co-sustrato excreta de ovino fue de 685.60 ml Biogás/gSV en un TRH de 115 días, en una relación 100-50 con excreta de conejo, demostrando y observando como el tiempo de latencia fue inferior a los 10 días, en comparación a los co-sustratos residuos de nopal quienes tuvieron tiempos de latencia superiores a los 30 días.

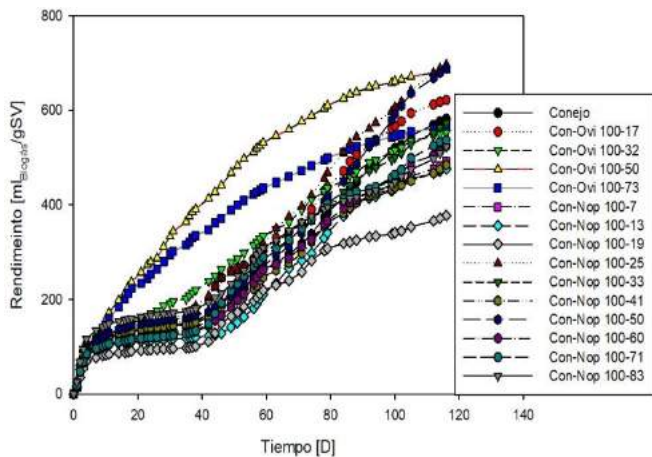


Fig. 3. Rendimiento Biogás de excreta de conejo con co-sustratos de excreta de ovino y residuos de nopal variando la carga orgánica a temperatura ambiente.

La cinética anterior se replicó, pero esta vez a temperatura controlada (37°C) como se muestra en la Fig. 4, representando notoriamente el mayor rendimiento para la co-digestión excreta de conejo con excreta de ovino en una relación 100-73, siendo de 739.50 mlBiogás/gSV en un TRH de 112 días y en este caso representando el menor rendimiento para el co-sustrato residuos de nopal en una relación 100-13 con excreta de conejo, siendo de 157.35 mlBiogás/gSV en un TRH de 112 días. A pesar de que la mayoría de los co-sustratos tuvieron tiempos de latencia inferiores a los diez días, no todos pudieron potencializar la producción de biogás.

Aunque algunos co-sustratos no incrementaron su producción superando los 60 días, la cinética debía continuar hasta que el último día donde el co-sustrato que representaba los mayores rendimientos se atenuara o definitivamente la producción terminara. En la Tabla I se muestran cada uno de los rendimientos a un TRH indicado, de los co-sustratos empleados a temperatura ambiente. En la Tabla II se muestran cada uno de los rendimientos en un TRH indicado, de los co-sustratos empleados a temperatura controlada.

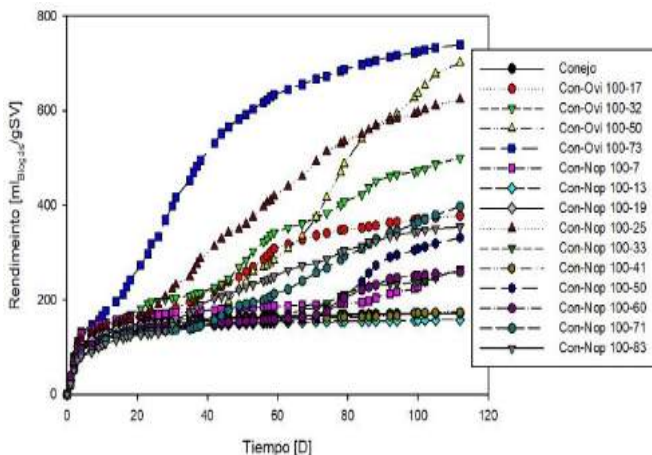


Fig. 4. Rendimiento Biogás de excreta de conejo con co-sustratos de excreta de ovino y residuos de nopal variando la carga orgánica a 37° C.

TABLA I. RENDIMIENTO BIOGÁS DE EXCRETA DE CONEJO CON CO-SUSTRATOS DE EXCRETA DE OVINO Y RESIDUOS DE NOPAL VARIANDO LA CARGA ORGÁNICA A TEMPERATURA AMBIENTE.

Sustrato	Rendimiento de biogás [ml Biogás/gSV]	Tiempo (días)
Conejo	559.66	112
Con-Ovi 100-17	12.49	112
Con-Ovi 100-32	545.73	112
Con-Ovi 100-50	679.56	112
Con-Ovi 100-73	561.56	112
Con-Nop 100-7	475.84	112
Con-Nop 100-13	467.02	112
Con-Nop 100-19	366.24	112
Con-Nop 100-25	679.21	112
Con-Nop 100-33	552.88	112
Con-Nop 100-41	467.39	112
Con-Nop 100-50	668.29	112
Con-Nop 100-60	504.76	112
Con-Nop 100-71	524.82	112
Con-Nop 100-83	497.04	112

TABLA II. RENDIMIENTO BIOGÁS DE EXCRETA DE CONEJO CON CO-SUSTRATOS DE EXCRETA DE OVINO Y RESIDUOS DE NOPAL VARIANDO LA CARGA ORGÁNICA A TEMPERATURA CONTROLADA (37°C).

Sustrato	Rendimiento de biogás [ml Biogás/gSV]	Tiempo (días)
Conejo	172.26	112
Con-Ovi 100-17	337.85	112
Con-Ovi 100-32	500.23	112
Con-Ovi 100-50	701.74	112
Con-Ovi 100-73	339.50	112
Con-Nop 100-7	263.23	112
Con-Nop 100-13	157.35	112
Con-Nop 100-19	171.07	112
Con-Nop 100-25	623.55	112
Con-Nop 100-33	263.63	112
Con-Nop 100-41	173.92	112
Con-Nop 100-50	331.38	112
Con-Nop 100-60	258.52	112
Con-Nop 100-71	397.45	112
Con-Nop 100-83	354.19	112

En las Tablas I y II se muestran cada uno de los los co-sustratos con su respectivo rendimiento a temperatura ambiente y temperatura controlada, respectivamente, en ambas tablas, los TRH se ajustaron a un periodo de 112 días. Claramente se observa como las bacterias anaerobias tiene comportamientos diferidos a temperatura ambiente y a temperatura controlada, hipotéticamente, un incremento en la temperatura ha demostrado acelerar el proceso de la hidrólisis en la primera fase de la digestión anaerobia, sin embargo, son pocos los co-sustratos que logran potencializar su producción en estado de temperatura controlada, a pesar de emplear bacterias mesofílicas las cuales operan en un rango de temperatura, un mínimo de 15- 20 °C, un óptimo de 25-35 °C y un máximo de 35-45° C [5]. En comparación de la cinética que se evaluó a temperatura ambiente, la mayoría de los co-sustratos tuvo tiempos de latencia mayores, a diferencia de los co-sustratos evaluados en temperatura controlada.

III. CONCLUSIONES

La presente investigación muestra que efectivamente la variación de la carga orgánica está relacionada intrínsecamente con la producción de biogás, aunque en algunos casos se esperaba que hipotéticamente aumentarían los rendimientos con forme aumentara la carga orgánica, sin embargo el estudio de la producción de biogás tiene una serie de variantes que en algunos casos las producciones no resultan como se estiman, un ejemplo de ello se puede apreciar con las co-digestiones con residuos de nopal, donde se sabe por literatura que el nopal es una planta con alto contenido de fibra, que por ende comprende un sustrato lignocelulósico, siendo este tipo de sustratos contienen altos porcentajes de biopolímeros tales como lignina, hemicelulosa y celulosa, entonces, si analizamos más afondo en la presente investigación, como es que algunas relaciones de co-digestión con residuos de nopal representan bajos rendimientos, se le puede atribuir a la composición de los biopolímeros de este sustrato, ya que las bacterias que actúan en la etapa de la hidrólisis tardan más tiempo en romper (hidrolizar) esta estructura de los biopolímeros en una primera fase, retrasando todo el proceso de las tres etapas restantes, lo que trae como consecuencia un mayor TRH y bajos rendimientos de biogás.

REFERENCIAS

- [1] Valle-Pereña, J. A., & Ortega-Navarro, H. O. (2012). Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026. *Secretaría de Energía*, 1-156.
- [2] Rohstoffé, F. N. (2010). Guía sobre el Biogás. Desde la producción hasta el uso.
- [3] Varnero, M. (2011). Manual de biogás. *Santiago de Chile, Chile:FAO*.
- [4] Arroyo, L. M. (1997). Renace la cunicultura en México impulsada por el
- [5] «Centro Nacional de Cunicultura». *Lagomorpha: revista de la Asociación Española de Cunicultura*, (89), 38-44.
- [6] Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives. 249pp.