

Evaluación de biosólidos de aguas residuales para producción de biogás: alternativa sostenible del manejo de rellenos sanitarios en Panamá

Deago, Euclides^{1,2,3}; Ramírez, Marian^{1,2}; Vallester, Erick^{1,2,3}

¹Grupo de Investigación Biosólidos: Energía y Sostenibilidad (BioES); Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas. Universidad Tecnológica de Panamá, Ancón, Ciudad de Panamá, Panamá, euclides.deago@utp.ac.pa

²Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levy Saso, Ancón, Ciudad de Panamá, Panamá, marian.ramirez@utp.ac.pa

³Grupo de Investigación Nitrato, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levy Saso, Ancón, Ciudad de Panamá, Panamá, erick.vallester@utp.ac.pa

Resumen

Actualmente, Panamá experimenta un crecimiento económico sostenido, pero también arrastra problemas inherentes, como es la acumulación de biosólidos generados en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales; los cuales son dispuestos en rellenos sanitarios sin ser aprovechados. En el caso de la Ciudad de Panamá, en el año 2014 se depositaron aproximadamente 75946 toneladas de biosólidos de aguas residuales en el Relleno Sanitario de Cerro Patacón. Esta situación genera una gran presión a la gestión de manejo de desechos y a nivel ambiental.

En este sentido, nuestro proyecto de investigación se enfoca en estudiar las características fisicoquímicas y de digestividad de los biosólidos con el propósito de cumplir con el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027 de Panamá, que establece la necesidad de realizar investigación y recuperación de desechos, considerando un bien económico y reduciendo el vertido en los rellenos sanitarios. Los estudios realizados se efectuaron a nivel de laboratorio, usando el Sistema Oxitop como medidor de la producción de biogás, generado por la digestión anaeróbica de biosólidos.

La caracterización de biosólidos estudiados de diversas actividades económicas indican su viabilidad para usarlos, dada sus bajas concentraciones de contaminantes y su alto contenido de materia orgánica. Los ensayos de digestividad indican que los rangos de producción de biogás estuvieron entre 2.5 mL/g SV y 100.3 mL/g SV lo cual está dentro de valores reportados. Estos resultados muestran el potencial de los biosólidos de aguas residuales como fuente sostenible de energía, contribuyendo de esta forma a reducir el estrés de los rellenos sanitarios.

Palabras clave: Biosólidos, aguas residuales, digestión anaeróbica, biogás, energía.

I. Introducción

En Panamá los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales (STAR), están generando gran cantidad de biosólidos (lodos orgánicos) que son dispuestos en rellenos sanitarios. El principal relleno sanitario del país, Cerro Patacón, que recibe los desechos generados en la Ciudad de Panamá, hasta el año 2017 recibió más de 70000 toneladas anuales de biosólidos [1]. Para el año 2017, hubo un incremento del 9.2% de biosólidos dispuesto en el Relleno Sanitario de Cerro Patacón en comparación al año 2016 [1].

Los biosólidos depositados en Cerro Patacón tienen diferentes procedencias: hay de origen industrial, tanques sépticos; trampas de grasa y aquellos que se derivan de letrinas portátiles; los cuales mayormente eran dispuestos sin un pretratamiento (Figura 1) [2]. A raíz de esta situación, desde el año 2018, la administración del Relleno Sanitario de Cerro Patacón suspendió la recepción de biosólidos de aguas residuales, debido a que presentan limitaciones para absorberlos y tratarlos. Actualmente, los únicos biosólidos que recibe Cerro Patacón son los generados en la Planta de Tratamiento de Agua

Residuales de Juan Díaz, que atiende a la Ciudad de Panamá, la cual genera en promedio 70 toneladas por día [3].

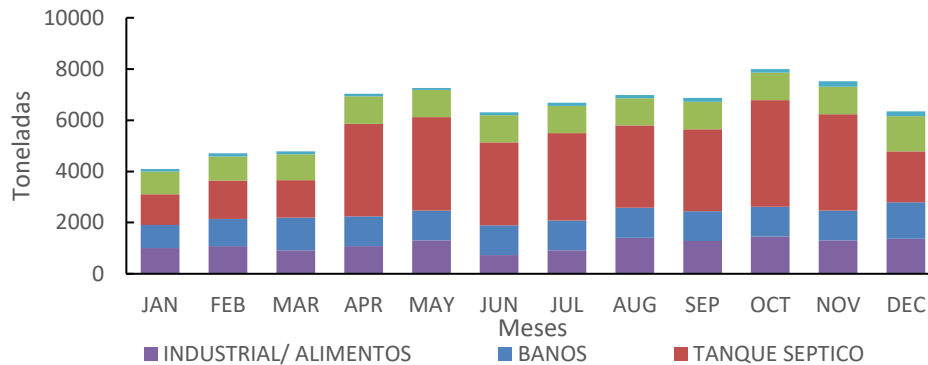


Figura 1. Según los registros de ingresos de biosólidos, los mayores volúmenes eran procedentes de limpiezas de tanques sépticos [2].

Debido al aumento de la generación de biosólidos, surge la necesidad de generar información técnico-científica, que permita, por un lado, conocer el perfil físico-químico de los biosólidos y por otro lado evaluar los potenciales usos. Uno de los posibles usos sería la producción de biogás (metano), para generación eléctrica. En este sentido, se puede señalar que en países como Estados Unidos la tecnología de digestión anaeróbica ha sido potenciada para la producción de biogás obtenido de granjas agrícolas, biosólidos de aguas residuales, en otras fuentes. La proyección de corto plazo es potencial la generación de energía eléctrica con biogás para abastecer a 3 millones de familias [4].

El aprovechamiento de los biosólidos para la generación eléctrica en Panamá es una opción que tiene muchas posibilidades, dado a que existe el marco regulatorio que incentiva la generación eléctrica usando tecnología nuevas y limpias [5]. Además, existen políticas nacionales que se enmarcan en temas de sostenibilidad; tal es el caso del Plan Energético Nacional 2015-2050 (PEN), que entre sus lineamientos está la descarbonización de la matriz energética del país y su diversificación [6]. Es por ello, que se busca conocer el potencial para producir metano, derivado de la digestión anaeróbica de biosólidos, con el fin de estimar cuánta energía eléctrica podría producirse con dicho biogás.

Esta investigación, deriva del trabajo de grado titulado “*Línea base y diagnóstico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales basado en los principales sectores económicos de las provincias de Panamá y Coclé*” [7]. Las actividades seleccionadas fueron: avícola, comercial, hotelero y municipal. Cabe destacar que los STAR seleccionados son aeróbico de tipo lodos activados.

II. Metodología

A. Muestreo de biosólidos.

El muestreo realizado en los STAR seleccionados se basó en lo dispuesto en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 [8]. Los biosólidos procedentes de STAR de cada actividad económica, presentaron distintas características físicas: los biosólidos de actividad avícola se caracterizan por su color rojizo (Figura 2a), con alto contenido de grasas y restos de plumas [9] y consistencia era líquida; biosólidos de la actividad comercial, con coloración marrón claro (Figura 2b), el cual se muestreó en el lecho de secado con alto contenido de agua; de la actividad hotelera igualmente se obtuvo muestras de biosólidos del lecho de secado, cuya consistencia era compacta con poco contenido de humedad y su color era marrón oscuro (Figura 2c); en tanto, para el STAR municipal el biosólido fue obtenido posterior al proceso de espesamiento, cuya coloración marrón oscuro (Figura 2d). En este proceso de espesamiento se usó polímeros, para el aumento de su contenido de sólidos [10]. Presentó alto contenido de agua.

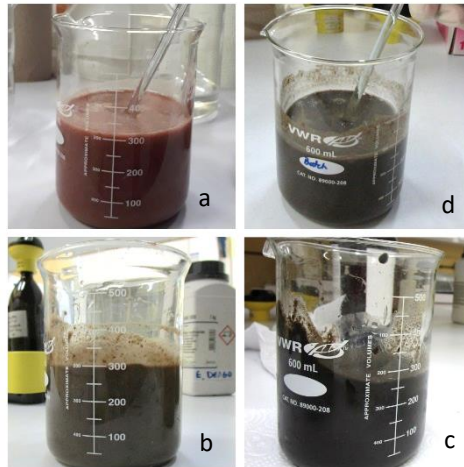


Figura 2. Apariencia de biosólidos muestreados en STAR de actividades económicas estudiadas: a) Avícola; b) Comercial; c) Hotelera; d) Municipal.

B. Montaje Experimental

Para determinar el Potencial Bioquímico de Metano (PBM) producto de digestión anaeróbica de biosólidos de aguas residuales, se usó el método manométrico denominado Oxitop; el cual se basa en el registro de delta de presiones que se producen por los procesos de digestión anaeróbicos. El Oxitop consiste en una serie de botellas ámbar de 500 mL, con cabezales digitales que registran presiones internas producidas por gases generados. Además, cuenta con una base magnética que agita el contenido de las botellas. La presión registrada en las cabezas de medición es descargada con un interfaz infrarrojo (Interface OC110) [11] (Figura 3).



Figura 3. a). Sistema de medición Oxitop. b) Interface OC110.

Los ensayos de PBM fueron realizados en cuadruplicado a 25 °C. En cada reactor batch (botellas ámbar de 500 mL) se usó un volumen de trabajo de 300 mL, de los cuales el 50% correspondía a biosólidos. Estos ensayos se realizaron por períodos de tiempo comprendido entre 700 y 800 horas. Durante este período los reactores se mantuvieron agitados; y para registrar la presión neta debido al gas metano formado por la digestión anaeróbica, se empleó trampas de NaOH para remover CO₂, que es otro subproducto de este proceso (Figura 4).

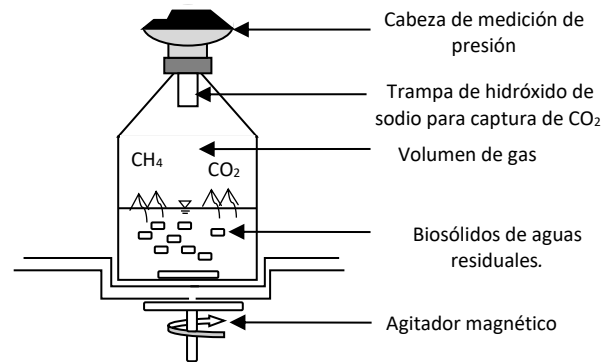


Figura 4. Componente y funcionamiento del Sistema Oxitop

C. Caracterización físico-química de biosólidos

Las muestras de biosólidos obtenidas de diferentes sistemas de las cuatro actividades económicas estudiadas se analizaron en el Laboratorio de Sistemas Ambientales del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la Universidad Tecnológica de Panamá (Tabla 1). A estas muestras se les determinó DQO, nitrato, pH, conductividad, Sólidos Volátiles y Fijos, según Standard Methods [12]. Para verificar el contenido de metales pesados definidos en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 de Panamá [8], las muestras se enviaron a un laboratorio especializado (Tabla 2). Estos parámetros se determinaron según las normas de la EPA [13].

Tabla 1. Parámetros físico-químicos de biosólidos de aguas residuales obtenidos durante seis meses de las actividades económicas estudiadas

Actividad			Período de Caracterización					
	Parámetros	Unidades	Oct-18	Nov-18	Dec-18	Jan-19	Feb-19	Mar-19
Avícola	pH	---	5.8	6.4	6.2	6.48	6.5	6.6
	DQO	mg/L	775	241	1356	1441	857	874
	Nitrato	mg/L	2.5	2.06	1.95	1.75	3.06	1.56
	Conductividad	μs/cm	540	215	871	126	575	503
	Sólidos Volátiles	%	91.6	59.9	83.5	45.8	44	60.5
	Sólidos Fijos	%	8.4	40.1	16.5	54.2	56	39.5
Comercial	pH	---	7.4	6.4	7.54	7.69	7.8	7.8
	DQO	mg/L	202	370	200	152	260	234
	Nitrato	mg/L	1.9	1.05	1.6	3.5	2.3	3.16
	Conductividad	μs/cm	301	222	315	213	217	302
	Sólidos Volátiles	%	69.5	72.4	57.5	41.7	71.9	69.3
	Sólidos Fijos	%	30.5	27.6	42.5	58.3	28.1	30.7
Hotelera	pH	---	6.9	6.9	6	7	6.5	7.2
	DQO	mg/L	243	365	216	120	181	100
	Nitrato	mg/L	1.9	0.85	2.86	1.25	3.66	1.06
	Conductividad	μs/cm	150	132	170	126	246	214
	Sólidos Volátiles	%	74.3	74.6	50.1	56.7	69.3	72.5
	Sólidos Fijos	%	25.7	25.4	49.9	43.3	30.7	27.5
Municipal	pH	---	--	6.7	6.8	7	6.9	6.1
	DQO	mg/L	--	220	195	320	320	211
	Nitrato	mg/L	--	1.98	0.7	3.45	3.7	2.57
	Conductividad	μs/cm	--	344	223	692	767	606
	Sólidos Volátiles	%	--	66.2	60.1	72.3	59.8	75.5
	Sólidos Fijos	%	--	33.8	39.9	27.7	40.2	24.5

Tabla 2. Los resultados metales pesados obtenido en una muestra de biosólidos de aguas residuales de las actividades económicas estudiadas



Parámetros	Unidades	Actividades Económicas				COPANIT 47-2000	
		Avícola	Comercial	Hotelera	Municipal	Tabla 3.1	Tabla 3.2
Coliformes Fecales	UFC/g	2.8x10 ⁸	1.2x10 ⁴	1.1x10 ⁵	1.5x10 ⁷	2000	2000
Arsénico	mg/kg	<0.001	<0.001	2.6	<0.001	75	40
Cromo		4,070	15.8	7.4	39.4	3000	1500
Cadmio		<0.001	1.1	0.365	<0.001	85	40
Cobre		33.6	425	1390	168	4300	1500
Mercurio		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	57	25
Molibdeno		0.414	5.11	1.41	2.73	75	25
Níquel		5,540	156	30.6	<0.001	420	420
Plomo		1,530	31.6	3.35	20.2	840	300
Selenio		3.84	<0.001	<0.001	<0.001	100	50
Zinc		118	1090	551	688	7500	3000

D. Estimación del Potencial Bioquímico de Metano

Para la estimación del Potencial Bioquímico de Metano (PBM) se hizo en base a ecuaciones que toman como referencia la Ley General de los gases, las cuales han sido adecuados por varios investigadores [14, 15 y 16]. En este sentido, la variable experimental usada en la estimación del PBM es la presión obtenida en los ensayos batch registrada por el Sistema Oxitop. Con estas ecuaciones se determinan el volumen de metano.

A continuación, se describen las ecuaciones utilizadas para calcular el PBM y los parámetros usados (Tabla 3):

$$n_{CH_4} = \frac{\Delta P * V_l}{R * T_e} \quad (1)$$

n_{CH_4} : Moles de CH₄ (mol); ΔP : Incremento de Presión en Sistema Oxitop (hPa); R : Constante de gases ideales (atm*mL/mol*K); T_e : Temperatura de ensayo (°K).

$$V_{CH_4-CE} = \frac{n_{CH_4} * R * T_{CE}}{P_{CE}} \quad (2)$$

V_{CH_4-CE} : Volumen de metano en condiciones estándar (mL); P_{CE} : Presión a condiciones estándar (atm)

$$H_{CH_4} = 10^{\frac{-675.74}{T_e} + 6.88} \quad (3)$$

H_{CH_4} : Constante de Henry para el CH₄ (atm).

$$X_{CH_4 \text{ disuelto}} = \frac{\Delta P}{H_{CH_4}} \quad (4)$$

$X_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Fracción molar de CH₄ disuelto.

$$M_{CH_4 \text{ disuelto}} = \frac{M_{H_2O} * X_{CH_4 \text{ disuelto}}}{1 - X_{CH_4 \text{ disuelto}}} \quad (5)$$

$M_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Concentración molar de CH₄ disuelto (mol*mL⁻¹); M_{H_2O} : Concentración molar del agua (mol*mL⁻¹);

$X_{CH_4 \text{ disuelto}}$: fracción molar de CH₄ disuelto.

$$n_{CH_4 \text{ disuelto}} = M_{CH_4 \text{ disuelto}} * V_u \quad (6)$$

$n_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Moles de CH₄ disuelto (mol); V_u : volumen útil en reactor (mL)

$$V_{CH_4 \text{ disuelto-CE}} = \frac{n_{CH_4 \text{ disuelto}} * R * T_e}{\Delta P} \quad (7)$$

$V_{CH_4 \text{ disuelto-CE}}$: Volumen de CH₄ disuelto en condiciones estándar (mL)

$$V_{TCH_4-CE} = V_{CH_4-CE} + V_{CH_4 \text{ disuelto-CE}} \quad (8)$$

V_{CH_4-CE} : Volumen de CH₄ en condiciones estándar (mL)

$$PBM = \frac{V_{TCH_4}}{g_{SV}} \quad (9)$$

g_{SV} : Sólidos Volátiles del sustrato. (g); PBM : Potencial Bioquímico de Metano (mL/g SV).

Tabla 3. Valores de constantes y parámetros usados en la estimación del Potencial Bioquímico de Metano



Parámetros	Unidades	Valor
R	Atm*mL/mol*K	0.08205746
H _{CH4}	Atm	41073.04816
M _{H2O}	Mol/mL	0.181642
P _{CE}	Atm	1
T _{CE}	°K	273.15
Te	°K	298.15
V _u	L	0.5

III. Resultados y Discusión

Antes de iniciar el análisis de los resultados, es importante destacar que el uso de la que el uso del Sistema Oxitop en su modo de registro manométrico, es decir de mediciones de presiones internas, permitió evaluar exitosamente el comportamiento de la digestión anaeróbica de los biosólidos de las diferentes actividades económicas. Este método es muy útil en especial porque se remueve el CO₂ que se genera en la digestión anaeróbica.

Los resultados experimentales demuestran una variación de la generación de biogás o PBM en la digestión anaeróbica de los biosólidos de cada actividad económica durante los seis meses de monitoreo (Figura 5). Los valores de PBM se presentan como el volumen de metano generado por gramo de material orgánico. Los valores del PBM correspondiente a cada actividad fueron: Avícola: 10.6 mL CH₄/g SV; Comercial 41.56 mL CH₄/g SV; Hotelera 9.6 mL CH₄/g SV; y Municipal: 100.1 mL CH₄/g SV.

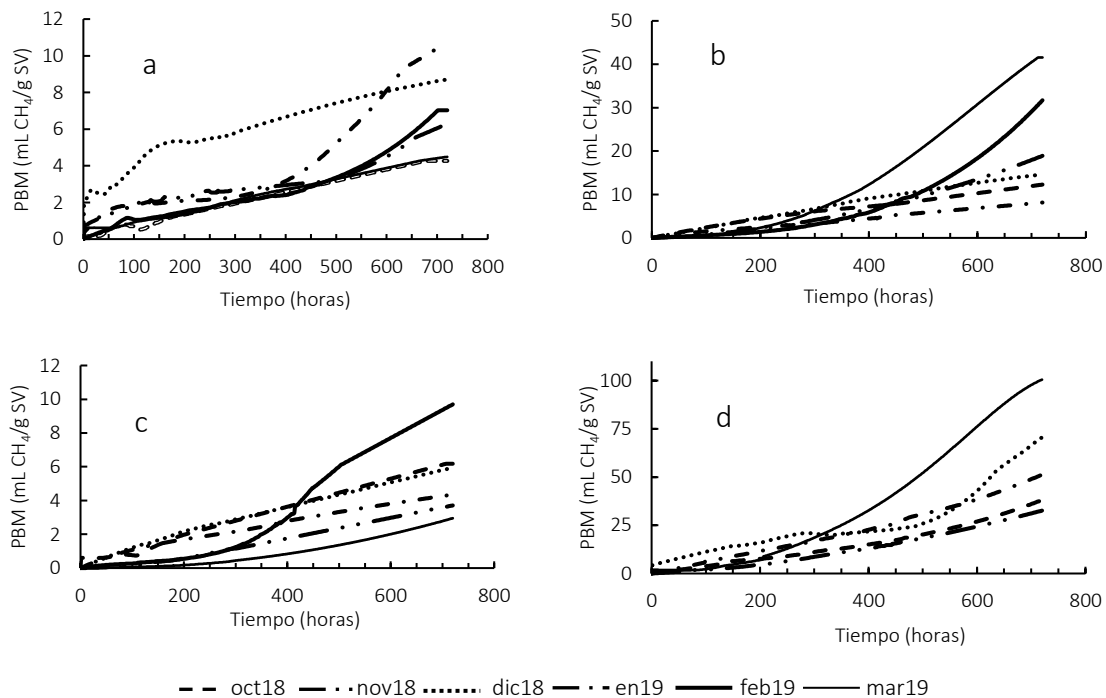


Figura 5. Potencial Bioquímico de Metano estimado para cada actividad económica en 6 meses de estudio, en base a los valores de presión registrados de los ensayos de digestividad anaeróbica: a) Avícola; b) Comercial; c) Hotelera; d) Municipal.

El comportamiento de PBM fue diferenciado para los ensayos de los biosólidos de las actividades económicas estudiadas durante los seis meses de monitoreo; a excepción de ensayos con biosólidos municipales que se efectuaron en cinco meses. En el caso de la actividad hotelera el PBM resultó ser el más bajo durante el período de medición del ensayo de digestividad. Solo en el mes de enero de 2019 logró un valor mayor de 9.6 mL CH₄/g SV; los demás valores estuvieron por debajo de 6 mL CH₄/g SV. Esta condición de poca producción de metano se asocia al bajo contenido de sólidos volátiles; ya que

en hoteles los principales contaminantes de las aguas se encuentran en los detergentes de baja calidad (alto contenido de fósforo y nitrógeno), las grasas y aceites que se recogen de las cocinas, duchas y áreas de limpieza y por supuesto de las aguas residuales domésticas [17]. En consecuencia, se puede inferir que, debido a la poca materia orgánica en los biosólidos de la actividad hotelera, por sí mismo no tiene la carga orgánica suficiente disponible para la digestión.

En tanto para los ensayos con biosólidos de la actividad avícola, los valores obtenidos reflejan congruencia con lo señalado en la literatura, en el sentido que son ricos en grasas y proteínas; lo que facilitaría una mayor formación de biogás. Sin embargo, al ser restos muy grasos el proceso se inhibe, porque son limitados los tipos de microorganismos capaces de metabolizarlos [18]. Esto se refleja en el comportamiento registrado en el ensayo (Figura 5a), para los meses de febrero y marzo de 2019, donde el valor máximo de PBM (4.2 mL CH₄/g SV), se estabilizó a las 720 h del ensayo siendo similar en varios meses de los ensayos de digestividad con biosólidos de actividad hotelera (Figura 4a).

Los valores obtenidos de los biosólidos de la actividad comercial se asemejan a biosólidos generados de aguas residuales domésticas, ya que mayormente sus aguas provienen de oficinas y locales comerciales de venta al detal. Por lo cual no se tiene presencia de contaminantes agresivos que afecten el crecimiento bacteriano. Aunque el valor dado no es cercano a lo que se espera de biosólidos primarios (190 mL CH₄/g SV), es de consideración saber que muchos factores, pueden variar este valor, como su contenido de sólidos volátiles y relación carbono/ nitrógeno [19].

Por último, está la actividad municipal, el cual presentó el comportamiento más satisfactorio y esperado para biosólidos del proceso de espesamiento, cuya carga orgánica y contenido de sólidos volátiles es más elevada. Este biosólido presentó su máximo valor (100.04 mL CH₄/g SV) en el mes de febrero de 2019. Aunque estos valores están por debajo de los valores registrados en la literatura para biosólidos espesados que van de 116 mL CH₄/g SV a 260 mL CH₄/g SV [19, 20 y 21], es posible que de dichos biosólidos se obtenga un mayor rendimiento, dado que los ensayos de digestividad se realizaron en período de 30 días de realizado los ensayo.

Perspectiva de desarrollo

Nuestros resultados son un reflejo de la calidad de los biosólidos de cuatro actividades económicas, pero que son representativas de lo existente en el mercado panameño. Los valores estimados de PBM nos permiten inferir que es posible en un mediano plazo desarrollar infraestructura para la generación eléctrica, la cual puede ser instalada en los predios de los rellenos sanitarios; tal como actualmente ocurre en el relleno de Cerro Patacón, pero aprovechando el biogás derivado de la degradación de los residuos orgánicos, la cual tiene una potencia firme instalada de 8 MW [22]. También existen otras iniciativas privadas que se han desarrolladas en Panamá para el aprovechamiento de biosólidos. Tal es el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, la cual tiene la capacidad de almacenar biogás para generación eléctrica de un 20% de su capacidad instalada [23].

Actualmente, existen incertidumbre en cuanto al manejo y tratamiento de los biosólidos de aguas residuales. Por ejemplo, en el Relleno de Cerro Patacón se aceptó recibir este tipo de residuos de forma temporal desde el 2009 [24] y desde el año 2017 se suspendió este servicio. Por otro lado, el recién elaborado Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027 (PNGIR), en sus alcances no considera el tratamiento de los desechos líquidos, por considerarlos que tienen condiciones muy especiales [25].

A pesar de que el PNGIR no contempla el tema de tratamiento de residuos líquido como lo son los biosólidos de agua residuales, dicho plan deja una ventana abierta, dado que establece en sus políticas y objetivos promover actuaciones de investigación, desarrollo e innovación dirigidos al eco-diseño, aprovechamiento y valorización de los residuos; y su política de desarrollar tecnologías limpias que promueven el comportamiento ambiental sostenible, estimulación de acciones de reducción,

reutilización, reciclaje y recuperación de desechos, considerándolo un bien económico y reduciendo el vertido en los rellenos sanitarios [25]. En este sentido, nuestra propuesta viene a aportar información técnico-científica que ayude a las autoridades regentes en la materia a generar las estrategias para implementar estas políticas.

IV. Conclusión

Si bien es cierto que cada biosólidos de agua residual, independientemente de la actividad, produce metano, su rendimiento dependerá de factores asociados a los contenidos de Sólidos Volátiles. Esto se reflejó en los biosólidos municipales donde hubo mayor desempeño. En este sentido, es necesario continuar explorando los biosólidos de otras actividades económicas, en especial de actividades económicas como las industrias alimenticias, las cuales producen altos contenidos de materia orgánica.

Aunque todos los biosólidos eventualmente pueden aportar metano por la ruta de digestión anaeróbica, las limitaciones que presentan como alto contenido de grasas o sustancias surfactantes, hace necesario explorar la alternativa de la adición de co-sustratos con alto contenido de materia orgánica (co-digestión), de forma tal de generar las condiciones favorables para que los microorganismos mejoren desempeño en la producción de biogás. Eso podría ser a través del uso los residuos orgánicos que llegan a los rellenos sanitarios. Esta medida además de incrementar la generación de biogás, tendría el valor agregado que se disminuiría la carga de desechos que llegan a los rellenos sanitarios y en consecuencia incrementaría la vida útil de éstos.

V. Agradecimientos

Deseamos agradecer a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por el apoyo financiero realizado a este proyecto. También agradecer a las empresas que abrieron sus puertas para estudiar los biosólidos generados en sus Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Y de igual forma, agradecer a la Universidad Tecnológica de Panamá, por apoyo continuo e incondicional a nuestras iniciativas de investigación.

VI. Referencias

- [1] Ministerio de Economía y Finanzas. Informe Económico y Social Anual 2017, pág 87.
- [2] Planta de tratamiento de lodos y parque eco-industrial e el Relleno Sanitario de Cerro Patacón. Energaseo, S.A. 2016.
- [3] Garrido, E.(1 de abril de 2018).Relleno de Cerro Patacón, área destinada para los residuos de la planta de tratamiento de Juan Díaz. Capital Financiero. Recuperado de : <https://elcapitalfinanciero.com/relleno-del-cerro-patacon-area-destinada-para-los-residuos-de-la-planta-de-tratamiento-de-juan-diaz/>
- [4] USDA, EPA, & DOE (2014). Biogas Opportunities Roadmap.
- [5] Ley 45. Que establece un régimen de incentivos para el fomento de sistemas de generación hidroeléctrica y de otras fuentes nuevas, renovables y limpias y dicta otras disposiciones, 45 C.F.R. (2004).
- [6] SNE. (2016). Plan Nacional de Energía. Panamá.
- [7] Castillo, J., & Murillo C.(2018) "Línea base y diagnóstico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales basado en los principales sectores económicos de las provincias de Panamá y Coclé". Tesis de Pregrado. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.
- [8] COPANIT 47-2000. Agua. Uso y disposición final de lodos, (2000).
- [9] Caldera Y., & Gutierrez E., "Aguas residuales de un matadero de aves: Características y tratamiento", vol. II N°3, Intellectus, 2012, pág. 7

- [10] Unidad Coordinadora del Proyecto Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá y MINSA, "Estudio de Impacto Ambiental de Planta de Tratamiento de agua residuales para el saneamiento de la ciudad y bahía de panamá," 2006, pág 37.
- [11] WTW, M. S. (1998). Operating Manual. Systmen OxiTop® Control Germany
- [12] APHA. (2012). Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd Ed., Washington D.C.
- [13] EPA 200.7 (1982). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.
- [14] Ortiz J. Puesta a punto de una metodología para la determinación de la actividad metanogénica específica de un fango anaerobio mediante el sistema OxiTop®. Influencia de las principales variables experimentales (Tesis doctoral). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia; 2011, págs 58-62.
- [15] Aquino, S. F., Chernicharo, L. C. A., Foresti, E. & Florencio, D. S. M. D. L. (2007). Metodologias Para Determinação Da Atividade Metanogênica Específica (Ame) Em Lodos Anaeróbios. Eng. Sanit. Ambient., pág. 199.
- [16] Giménez, J. B., Martí, N., Ferrer, J. & Seco, A. (2012). Methane Recovery Efficiency In A Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor (Sanmbr) Treating Sulphate-Rich Urban Wastewater: Evaluation Of Methane Losses With The Effluent. Bioresour. Technol., pág 7-10.
- [17] ISA. (abril 2015). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para la Industria Hotelera. Recuperado por: <https://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-la-industria-hotelerera>
- [18] León, León (13 de septiembre de 2007). Una investigadora de la Universidad de León estudia las mejores formas de obtener biogás a partir de residuos de matadero. DICYT.
- [19] Consuelo, I. & Guerrero, J. (2016). Evaluación del potencial de biometanización de la co-digestión de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales mezclados con residuos de alimentos. Tesis de maestría. Universidad de Antioquía.
- [20] S. Luostarinen, S. Luste, and M. Sillanpää. (2009). "Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant," Bioresour. Technol., vol. 100, no. 1, pp. 79–85.
- [21] H.-W. Kim et al. (2003). "Improved anaerobic biodegradation of biosolids by the addition of food waste as a co-substrate". Waste management & research, págs. 539-546.
- [22] ASEP. (2018). Datos Relevantes del Mercado Eléctrico Panameño". may-2018.
- [23] UCP. (2015). Proyecto Saneamiento de la Ciudad y la bahía de Panamá. Retrieved from <http://www.saneamientodepanama.com/>
- [24] La Resolución nº 001 de 5 de enero de 2009, por la que se autoriza de forma temporal, al municipio de Panamá para recibir desechos hospitalarios y lodos, en tanto sean aprobados, por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), los instrumentos de gestión ambiental (EIA, PAMA), que correspondan a las adecuaciones ambientales del relleno sanitario de Cerro Patacón.
- [25] INECO 2017. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027. TOMO II