

Evaluation of the Biochemical Potential of Methane from wastewater biosolids as a source of clean and sustainable energy

Deago, Euclides

Grupo 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

Ramírez, Marian

Grupo de Investigación Biosólidos: Energía y Sostenibilidad (BioES)
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ancón, Ciudad de Panamá, Panamá
marian.ramirez@utp.ac.pa

Abstract— En Panamá en los últimos 20 años se ha incrementado la inversión en materia de saneamiento tanto a nivel Estatal como privado, impulsado por la generación de normas de descarga. Si bien es cierto, que se está logrando la recuperación de los cuerpos de aguas receptores debido a estas inversiones, es poco lo que se ha hecho con los subproductos de este saneamiento, especialmente la generación de lodos orgánicos o biosólidos de aguas residuales. Por tal razón, nuestra investigación se enfocó en el estudio de potencial bioquímico de metano (PBM), por medio de ensayos de digestión anaeróbica usando el sistema Oxitop. Dichos resultados de nuestra investigación son presentados en este artículo, derivado de la evaluación de biosólidos obtenidos de plantas de tratamiento de aguas residuales de diversas actividades económicas. Los hallazgos de los estudios de digestividad muestran que existe una variación en el PBM según actividad económica. Los máximos valores de PBM se obtuvieron para biosólidos municipales, cuyo valor fue de 103 mL CH₄/g SV. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en estudios similares. Sin embargo, consideramos que se requiere profundizar en esta materia, con el objetivo de mejorar los rendimientos del BPM de los biosólidos de aguas residuales, haciendo codigestión, complementándolo con otros sustratos orgánicos

Palabras claves — *Biosólidos, digestión anaeróbica, Oxitop, Potencial Bioquímico de Metano.*

Abstract - In Panama, in the last 20 years, investment in sanitation has increased both at the State and private levels, driven by the generation of discharge regulations. Although it is true that recovery of the bodies of receiving water is being achieved due to these investments, little has been done with the byproducts of this sanitation, especially the generation of organic sludge or wastewater biosolids. For this reason, our research focused on the study of biochemical methane potential (BPM), through anaerobic digestion tests using the Oxitop system. These results of our research are the results of the evaluation of biosolids from wastewater treatment plants of various economic activities. The findings of the studies of digestivity show that there is a variation in BPM according to economic activity. The maximum BPM values were obtained for municipal biosolids; whose value was 103 mL CH₄/g SV. These results are consistent with the contents of similar studies. However, it is required to deepen this subject, with the aim of improving the yields of BPM from wastewater biosolids, by coding, complementing other organic substrates.

Keywords— *Biosolids, Anaerobic Digestion, Oxitop, Biochemical Potencial Methane.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la Ciudad de Panamá los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales (STAR), están generando gran cantidad de biosólidos (lodos). Según informes del año 2017, el relleno sanitario de Cerro Patacón recibió 24,013 toneladas de lodos, 9.2 % más que el año 2016 [1]. Sin embargo, para el año 2018, el Relleno Sanitario de Cerro Patacón solo recibe biosólidos estabilizados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, el cual genera aproximadamente 70 toneladas por día 9 [2]. Este cambio en la gestión del Relleno Sanitario de Cerro Patacón surge por las limitaciones que presenta para absorber el volumen de biosólidos generados por los STAR [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 STAR, en otras fuentes. La proyección de corto plazo es potencial la generación de energía eléctrica con biogás para abastecer a 3 millones de familias [3].

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 [4]. 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 [5]. 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” [6]. Las actividades seleccionadas fueron: avícola, comercial, hotelero y municipal. Cabe destacar que los STAR seleccionados son aeróbico de tipo lodos activados.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

A. Muestreo de biosólidos.

El muestreo realizado en los STAR seleccionados se basó en lo dispuesto en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 [7]. 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 1a), con alto contenido de grasas y restos de plumas [8] y consistencia era líquida; biosólidos de la actividad comercial, con coloración marrón claro (Figura 1b), el cual se muestreó en el lecho de secado, su consistencia era semi- líquida; 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 1c); en tanto, para el STAR municipal el biosólido fue obtenido posterior al proceso de espesamiento, cuya coloración marrón oscuro (Figura 1d). En este proceso de espesamiento se usó polímeros, para el aumento de su contenido de sólidos [9]. Su consistencia era líquida.

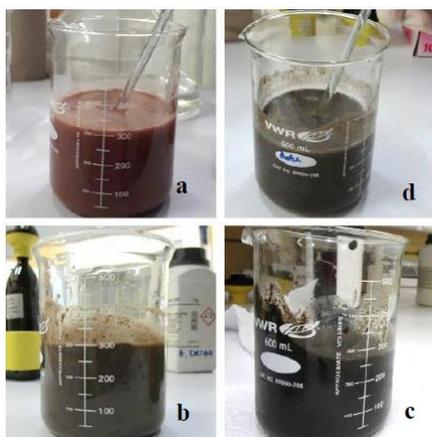


Figura 1. Apariencia de biosólidos muestreados en STAR de actividades económicas estudiadas: a) Avícola; b) Comercial; c) Hotelera; d) Municipal.

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) [10] (Figura 2).



Figura 2. 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. En tanto, 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 3).

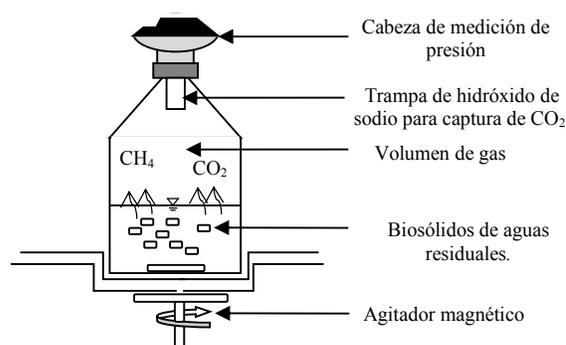


Figura 3. Componente y funcionamiento del Sistema Oxitop

C. Caracterización físico-química de biosólidos

Las muestras biosólidos se enviaron a un laboratorio acreditado, para determinar sus propiedades químicas y verificar su cumplimiento con respecto al Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000. Otros parámetros como DQO, nitrato, pH, conductividad, se obtuvieron en el Laboratorio de Sistemas Ambientales del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. Estos análisis se hicieron según Standard Methods [11]. Los resultados obtenidos se agrupan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la caracterización físico-química de biosólidos de las actividades económicas estudiadas

Parámetros	Unidades	Metodología	Actividades Económicas				COPANIT 47-2000	
			Avícola	Comercial	Hotelera	Municipal	Tabla 3.1	Tabla 3.2
Coliformes Fecales	UFC/g	SM 9222 D	2.8x10 ⁸	1.2x10 ⁴	1.1x10 ⁵	1.5x10 ⁷	2000	2000
pH	unidades	UNE-ISO10390	5.75	7.36	6.94	6.74	9 - 12	9 - 12
DQO	mg/L	HACH 8000	241	370	365	-	NA	NA
Nitratos		HACH 8171	2.06	1.05	0.85	-	NA	NA
Conductividad	µs/cm	SM 2510 B	215	72	132	-	NA	NA
Sólidos Fijos	%	SM 2540 G	8.4	30.5	25.7	33.8	NA	NA
Sólidos Volátiles	%	SM 2540 G	91.6	69.5	74.3	66.2	NA	NA
Arsénico	mg/kg	EPA 200.7	<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 [12, 13 y 14]. 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 2):

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

n_{CH₄}: 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_{CH₄-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_{CH₄}: Constante de Henry para el CH₄ (atm).

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

X_{CH₄ 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_{CH₄ disuelto}: Concentración molar de CH₄ disuelto (mol*mL⁻¹); **M_{H₂O}**: Concentración molar del agua (mol*mL⁻¹); **X_{CH₄ disuelto}**: fracción molar de CH₄ disuelto.

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

n_{CH₄ 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_{CH₄ 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_{CH₄-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 2. 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	1.0
T _{CE}	°K	273.15
T _e	°K	298.15
V _u	L	0.5

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos experimentales demuestran una variación de la generación de biogás o PBM en la digestión anaeróbica de los biosólidos de cada actividad económica (Figura 4). Los valores de PBM se presentan como el volumen de metano generado por gramo de material orgánico. Los resultados obtenidos son correspondientes a un mes de prueba, que se tomó de manera representativa para el análisis. Los valores del PBM correspondiente a cada actividad fueron: Avícola: 5.03 mL CH₄/g SV; Comercial 41.56 mL CH₄/g SV; Hotelera 2.94 mL CH₄/g SV; y Municipal: 103.04 mL CH₄/g SV.

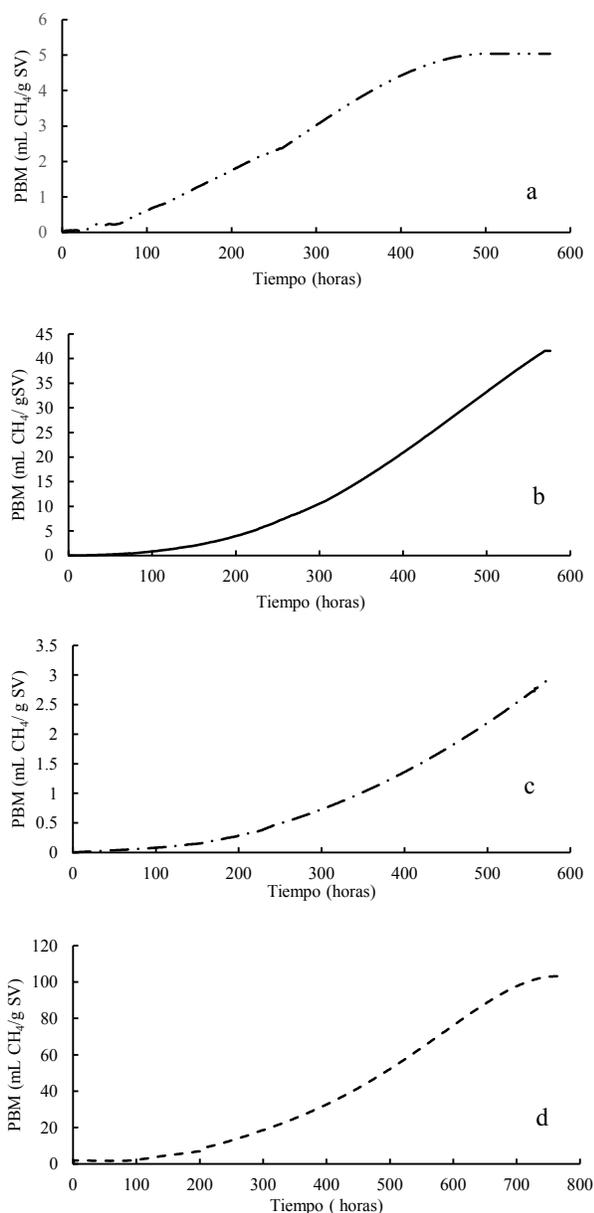


Figura 4. Potencial Bioquímico de Metano estimado para cada actividad económica, en base a los valores de presión registrados de los ensayos de digestión anaeróbica: a) Avícola; b) Comercial; c) Hotelera; d) Municipal.

El comportamiento de PBM fue diferenciado para los ensayos de los biosólidos de las actividades económicas estudiadas. En el caso de la actividad hotelera el PBM resultó ser el más bajo durante el período de medición del ensayo de digestividad. 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 [16]. 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.

Los valores de obtenidos de la actividad avícola reflejan que los biosólidos son congruentes 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 muy grasos el proceso se inhibe, porque son limitados los tipos de microorganismos capaces de metabolizarlos [17]. Esto se refleja en el comportamiento registrado en el ensayo batch (Figura 4a), donde el valor máximo de PBM se estabilizó a las 500 h; siendo ligeramente superior al resultado obtenido en el ensayo de digestividad con biosólidos de actividad hotelera.

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 [17].

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 un valor de 103.04 mL CH₄/g SV (Figura 4d), en comparación con valores registrados en la literatura para biosólidos espesados que van de 116 mL CH₄/g SV a 260 mL CH₄/g SV [18,19 y 20]. Cabe mencionar que el valor del PBM se obtuvo a los 30 días (720 h) de realizado los ensayos, de una tendencia que podía seguir aumentando y acercarse a valores reportados.

Los ensayos batch de digestión anaeróbica con biosólidos de cuatro actividades económicas dieron resultados de producción de biogás, pero estos rendimientos fueron bajos en comparación con los valores reportados en la literatura. En este sentido, una opción que se ha experimentado en los últimos años, es usar sustratos orgánicos con biosólidos de aguas residuales, para potenciar los rendimientos de generación de biogás [18-20].

En este sentido, la hipótesis de factibilidad planteada es que la generación eléctrica usando biogás, obtenido de codigestión anaeróbica biosólidos de agua residuales con otros sustratos como por ejemplo residuos orgánicos municipales, será sostenible en el tiempo y con costos accesibles para el generador como para el cliente; ya que estudios recientes de mercados indican que existe una caída considerable de los costos globales de la electricidad, donde resalta que la bioenergía es la que presenta mayor baja en un 14% [21].

IV. CONCLUSIÓN

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, porque se remueve el CO₂ generado en la digestión anaeróbica, permitiendo registrar la presión neta producida por el gas metano.

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. Además, 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.

Es necesario continuar explorando los biosólidos de aguas residuales de otras actividades económicas, en especial de actividades económicas como las industrias alimenticias, las cuales producen altos contenidos de materia orgánica, que permitirá mejorar el Potencial Bioquímico de Metano.

V. AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por el financiamiento al proyecto IDDS15-071, del cual se desprende este trabajo. De igual forma, agradecer a la Universidad Tecnológica de Panamá, por el apoyo permanente a nuestras iniciativas de investigación. Además, agradecer a cada una de las empresas que abrieron sus puertas para estudiar los biosólidos generados en sus Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Finalmente, agradecer a co-investigadores y colaboradores del proyecto por sus importantes aportes a esta investigación.

VI. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Economía y Finanzas. Informe Economico y Social Anual 2017, pág 87.
- [2] Garrido, E.(1 de abril de 2018).Relleno de Cerro Patacon, 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/>
- [3] USDA, EPA, & DOE (2014). Biogas Opportunities Roadmap.
- [4] 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).
- [5] SNE. (2016). Plan Nacional de Energía. Panamá.
- [6] 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.
- [7] COPANIT 47-2000. Agua. Uso y disposición final de lodos (2000).
- [8] Caldera Y.,& Gutierrez E.,“Aguas residuales de un matadero de aves: Características y tratamiento”, vol. II N°3, Intellectus, 2012, pág. 7
- [9] 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.
- [10] WTW, M. S. (1998). Operating Manual. System Oxitop® Control Germany
- [11] APHA.(2012).Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd Ed., Washington D.C.
- [12] 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.
- [13] Aquino, S. F., Chernicharo, L. C. A., Foresti, E. & Florencio, D. S. M. D. L. (2007). Metodologías Para Determinação Da Atividade Metanogénica Específica (Ame) Em Lodos Anaeróbios. Eng. Sanit. Ambient., pág. 199.
- [14] 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. Bioresource Technology, pág 7-10.
- [15] EPA 200.7 (1982). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.
- [16] 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-hoteler>
- [17] 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.
- [18] 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 Antioquia.
- [19] 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,” Bioresource. Technol., vol. 100, no. 1, pp. 79–85.
- [20] 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.
- [21] IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.