



VIII SIMPOSIO
IBEROAMERICANO
DE **INGENIERÍA**
DE RESIDUOS

HACIA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RESIDUOS

17 - 18 SETIEMBRE 2019

ASUNCIÓN - PARAGUAY

LIBRO DE ACTAS

VIII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos

Esta publicación debe citarse como:

LIMA MORRA, R.; FLORENTIN LOPEZ, C. (2019). Libro de actas. VIII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Asunción, Paraguay pp.897. ISBN: 978-99967-670-2-9



Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (UC)

Narciso Velázquez, Rector

Luca Cernuzzi, Decano Facultad de Ciencias y Tecnología

Roberto Lima Morra, Director Centro de Tecnología Apropriada

Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos

Comité Organizador

Roberto Lima Morra, Coordinador General del Simposio

Claudia Florentín López

Diego Centurión

Nicolás Rodríguez Müller

Alicia Pavetti Infanzón

Gabriela Cazenave

Mercedes Britez

Investigadores del Centro de Tecnología Apropriada y del Departamento de Ingeniería Civil, Industrial y Ambiental de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

Diagramación

Roberto Lima Morra

Claudia Florentín López

Setiembre 2019

ISBN: 978-99967-670-2-9



Comité Científico

- Alethia Vázquez Morillas (Universidad Autónoma Metropolitana, México)
- Amaya Lobo García de Cortázar (Universidad de Cantabria, España)
- Ana Belem Piña Guzmán (Instituto Politécnico Nacional, México)
- Ana López Martínez (Universidad de Cantabria)
- Antonio Gallardo Izquierdo (Universitat Jaume I, España)
- Beatriz Adriana Venegas Sahagún (Universidad de Guadalajara, México)
- Carina Maroto (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Clarisa Alejandrino (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Claudia Celeste Florentín López (Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
- Cláudia Coutinho Nóbrega (Universidade Federal da Paraíba, Brasil)
- Claudia Estela Saldaña Duran (Universidad Autonoma de Nayarit, México)
- Dagoberto Arias Aguilar (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
- Edgar Quiñones Bolaños (Universidad de Cartagena, Colombia)
- Elen Pacheco (Universidade Federal do Río de Janeiro, Brasil)
- Erik Napoleón Vallester (Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
- Estevão Freire (Universidade Federal do Río de Janeiro, Brasil)
- Fabián Robles Martínez (Instituto Politécnico Nacional, México)
- Fabiola Eliane Adam Cabrera (Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
- Francisco J. Colomer Mendoza (Universitat Jaume I, España)
- Gerardo Bernache Pérez (CIESAS, México)
- Gerlin Salazar Vargas (Universidad de Costa Rica, Costa Rica)
- Guillermo Monrós Tomás (Universitat Jaume I, España)
- Hamilcar José Almeida Filgueira (Universidade Federal da Paraíba, Brasil)
- Irma Mercante (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Javier Mouthon Bello (Universidad de Cartagena, Colombia)
- Jocelyn Szantó Carranza (Pontificia Universidad Católica de Valparaiso, Chile)
- José Wilmer Runfola Medrano (Universidad de Los Andes, Venezuela)
- Juacyara Carbonelli Campos (Universidade Federal do Río de Janeiro, Brasil)
- Norma Graciela Cantero Araujo (Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción)
- Julieta Chini (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Kelma Maria Nobre Vitorino (Instituto Federal de Sergipe, Brasil)
- Laura Patricia Brenes-Peralta (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)

- Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne (Universidade Federal de Campina Grande, Brasil)
- Luz Graciela Cruz (Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología – SENACYT, Panamá)
- Marcel Segismundo Szanto Narea (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile)
- María Cristina Moreira Alves (Universidade Federal do Río de Janeiro, Brasil)
- María del Consuelo Hernández Berriel (Instituto Tecnológico de Toluca, México)
- María del Consuelo Mañón Salas (Instituto Tecnológico de Toluca, México)
- Maria del Mar Carlos Alberola (Universitat Jaume I, España)
- Maria Dolores Bovea Edo (Universitat Jaume I, España)
- María Fernanda Jiménez Morales (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
- Maricelma Ribeiro Morais (Universidade Estadual da Paraíba, Brasil)
- Miguel Cuartas Hernández (Universidad de Cantabria, España)
- Mónica Eljaiek Urzola (Universidad de Cartagena, Colombia)
- MonicaPertel (Universidade Federal do Río de Janeiro, Brasil)
- Otoniel Buenrostro Delgado (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México)
- Patricio Marques de Souza (Universidade Federal de Campina Grande, Brasil)
- Roberto Lima Morra (Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
- Rooel Campos Rodríguez (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
- Rosa María Espinosa Valdemar (Universidad Autónoma Metropolitana, México)
- Samantha Eugenia Cruz Sotelo (Universidad Autónoma de Baja California, México)
- Sara Ojeda Benítez (Universidad Autónoma de Baja California, México)
- Silvia Soto Córdoba (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
- Susana Llamas (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)

Índice

CURRICULUM VITAE	15
Compostaje como alternativa de tratamiento para residuos sólidos biodegradables del Tecnológico de Costa Rica.....	16
Obtención de consorcio bacteriano para acelerar el proceso de composteo.....	17
Evaluación de la eficiencia de un consorcio bacteriano obtenido a partir de composta.....	18
Efecto del material biosecado en el crecimiento de rábano.....	19
Evaluación de los residuos de las trampas de grasa de los lodos provenientes de las sodas de la Universidad Nacional mediante técnica de compostaje enzimático para su posterior aprovechamiento como enmienda orgánica	20
Evaluación integral mediante indicadores de la gestión de residuos en un relleno sanitario del estado de Guanajuato México.	21
Simulación de la degradación de películas plásticas en un relleno sanitario	22
Capacidad de acogida del territorio para la ubicación optima de rellenos sanitarios en el Departamento de Itapúa, Paraguay	23
La importancia de las emisiones localizadas en vertederos de residuos	24
Caracterización toxicológica de los lixiviados de dos sitios de disposición final en el Estado de México. 25	
Ubicación de un relleno sanitario intermunicipal entre el estado de México y Morelos, utilizando sistemas de información geográfica.....	26
Aspectos metodológicos de Análisis de Ciclo de Vida de organizaciones (ACV-O) para reciclaje de plásticos.	27
Danos ambientais decorrentes do lançamento inadequado dos resíduos medicamentosos	28
Impactos ambientales en la recolección contratada de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tepic, Nayarit, México.....	29
Microplásticos y residuos sólidos en playas turísticas de México, una mirada a la situación actual	30
Gerenciamento de resíduos não perigosos em empreendimentos de grande porte - estudo de caso de uma indústria metalúrgica brasileira.	31
Plataforma de trabajo colaborativo para la clasificación de imágenes de residuos.....	32
Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos en Etzatlán, México	33
Caracterização de resíduos plásticos descartados na praia de Intermares-Cabedelo-PB-Brasil.....	34
Aplicación de p+I para la caracterización de residuos sólidos de grandes generadores.....	35
Una alianza estratégica para la toma de decisión en la gestión de los residuos sólidos urbanos: Caso de estudio la ciudad de Tepic, Nayarit, México.....	36
La influencia de los sistemas móviles de recogida asociados a los puntos limpios	37
Proyecto de aislamiento energético de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos mediante gasificación de los rechazos	38

Propuesta de desarrollo de un producto alimenticio para cerdos, a base de residuos sólidos biodegradables	39
Consideraciones para el desarrollo del uso de la energía basada en la biomasa	40
Reutilização e secagem de refugos de cenouras para fabricação de farinhas.....	41
Madeira plástica: uma revisão sobre sua fabricação e discussão sobre suas matérias-primas	42
Selección de tecnologías WASTE-TO-ENERGY mediante herramientas multicriterio	43
Análisis y propuesta de uso de los residuos sólidos generados en una empresa maderera	44
Evaluación de biosólidos de aguas residuales para producción de biogás: alternativa sostenible del manejo de rellenos sanitarios en Panamá.....	45
Modelo para aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos desarrollado por organizaciones de recicladores de oficio en Bogotá D.C.....	46
Gestión de los Residuos Sólidos en el Municipio de Abasolo, Guanajuato, México.....	47
Recogida separada de la fracción orgánica procedente de los residuos sólidos urbanos: resultados de la experiencia piloto desarrollada en Castellón de la plana (España)	48
Impacto de la instalación de un quinto contenedor en la recogida selectiva de biorresiduos en una zona costera y otra de interior en el este de España.....	49
Diseño de alternativas de recolección selectiva de residuos domiciliarios en la ciudad de las Heras – Santa Cruz. Evaluación económica y transferencia de tecnologías automáticas de recolección al contexto de una ciudad pequeña de Argentina.	50
Valorización de pérdida y desperdicio de alimentos, una visión de su Ciclo de Vida en el contexto de un Campus Universitario.....	51
Evaluación de modelos de gestión de residuos en México y Chile a partir de indicadores	52
Aspectos de eficiencia da coleta seletiva de Natal-RN-Brasil	53
El manejo de los residuos en municipalidades de México	54
Avaliação do uso de EPIs pelos Catadores de Resíduos na Cidade de Campina Grande- PB	55
Comparação entre o nível de saúde dos catadores de resíduos de uma Cooperativa e uma Associação de catadores na Cidade de Campina Grande- PB.....	56
Avances en la gestión de los residuos sólidos municipales, caso chile.....	57
Atuação dos empreendimentos de catadores na coleta seletiva do Maior São João do Mundo-Campina Grande-PB-Brasil.....	58
Fundamentacao legal para os indicadores do icgra no estado do Rio Grande do Norte-Brasil.....	59
Inmovilización de arsénico en residuos de minería de la región Arequipa	60
Modelado en grafos de colocación de contenedores de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de Nayarit, México	61
Estrategias para el Diseño e Implementación de una Campaña de Educación Ambiental sobre los Residuos Sólidos Urbanos en un Departamento Rural en la Provincia de San Juan.	62

Química verde aplicada en los cursos de Laboratorio de Química General en la Universidad Nacional en Costa Rica	63
Implantação da Coleta Seletiva em Empresas no município de Campina Grande – PROPEX/UFCG.....	64
Aplicación de herramientas de minería de datos a encuestas en casa habitación en municipios del centro de México	65
Automação das leiras no processo de compostagem do Laboratório de Tecnologias Agroambientais da UFCG.	66
Lecciones aprendidas por casos de deslizamientos ocurridos en rellenos sanitarios municipales, a partir de la recopilación de experiencias ocurridas en Latinoamérica	67
Variables ambientales, sanitarias, socioeconómicas y epidemiológicas asociadas a la tasa de incidencia de dengue en la ciudad de asunción en 2012 y 2013.	68
Diagnóstico do lixo do município de São José de Espinharas - PB – Brasil	69
Determinación de la pérdida y desperdicios de alimento (PDA) en las sodas de la Universidad Nacional y su importancia en el manejo sostenible de los recursos naturales	70
La biomasa como amalgama estratégica en el entramado Iberoamericano: el caso de ReBiBiR (T)	71
TRABAJOS TÉCNICOS	72
Tratamiento de lodos fisicoquímicos mediante composteo.....	73
Compostaje como alternativa de tratamiento para residuos sólidos biodegradables del Tecnológico de Costa Rica.....	81
Obtención de consorcio bacteriano para acelerar el proceso de composteo.....	91
Evaluación de la eficiencia de un consorcio bacteriano obtenido a partir de composta.....	98
Efecto del material biosecado en el crecimiento de la planta de rábano (Raphanus sativus L.)	106
Evaluación de los residuos de las trampas de grasa de los lodos provenientes de las sodas de la Universidad Nacional mediante técnica de compostaje enzimático para su posterior aprovechamiento como enmienda orgánica	112
Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial en el tratamiento de lixiviados, caso de estudio: relleno sanitario parque ambiental loma de los cocos.....	123
Evaluación integral mediante indicadores de la gestión de residuos en un relleno sanitario del estado de Guanajuato, México	135
Análisis de costo del compost como material de cobertura a partir de los residuos sólidos urbanos para un relleno sanitario	144
Uso de las aeronaves piloteadas a distancia rpa (remotely piloted aircraft) para la operación de sitios de disposición de desechos sólidos. caso de estudio vertedero de gualaca, Chiriquí, Panamá	152
Simulación de la degradación de películas plásticas en un relleno sanitario	160
Capacidad de acogida del territorio para la ubicación óptima de rellenos sanitarios en el Departamento de Itapúa, Paraguay	168

La importancia de las emisiones localizadas en vertederos de residuos	180
Caracterización toxicológica de los lixiviados de dos sitios de disposición final en el estado de México	192
Ubicación de un relleno sanitario intermunicipal entre el estado de México y Morelos, utilizando sistemas de información geográfica.....	203
Aspectos metodológicos de análisis de ciclo de vida de organizaciones (acv-o) para reciclaje de plástico	210
Valoración de la Importancia Ambiental de Acciones de Proyectos con Decisión Multicriterio y Aritmética Difusa	218
Impactos ambientales en la recolección contratada de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Tepic, Nayarit.....	231
Danos ambientais decorrentes do lançamento inadequado dos resíduos medicamentosos	238
Residuos peligrosos de litio provenientes de baterías de teléfonos celulares en desuso en Paraguay	244
Determinação de coliformes totais em garrafas utilizadas por usuários de academias na cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil.	254
Estudio de los residuos provenientes de los neumáticos fuera de uso en el Paraguay entre los años 1994 – 2015.....	262
Microplásticos y residuos sólidos en playas turísticas de México, una mirada a la situación actual	269
Ingresos probables procedentes de la valorización de residuos sólidos de la escuela básica n° 4273 y colegio nacional República de México de la ciudad de Itauguá	280
Gerenciamento de resíduos não perigosos em empreendimentos de grande porte - estudo de caso de uma indústria metalúrgica brasileira	292
Plataforma de trabajo colaborativo para la clasificación de imágenes de residuos	302
Análisis de la variación de los residuos sólidos identificados en playas turísticas en Cartagena de Indias y su incidencia en la generación de microplásticos	313
Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos en Etzatlán, México.....	321
Caracterização de resíduos plásticos descartados na praia de Intermares-Cabedelo-PB- Brasil.....	328
Propuesta de plan de manejo para los residuos de un área natural protegida en la zona centro de México	334
Aplicación de p+l para la caracterización de residuos sólidos de grandes generadores.....	343
Una alianza estratégica para la toma de decisión en la gestión de los residuos sólidos urbanos: caso de estudio la ciudad de Tepic, Nayarit, México	352
La influencia de los sistemas móviles de recogida asociados a los puntos limpios	360
Proyecto de aislamiento energético de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos mediante gasificación de los rechazos	371
Estudio de composición y generación de los desechos sólidos. caso de estudio en 20 vertederos de la República de Panamá	381

Propuesta de desarrollo de un producto alimenticio para cerdos, a base de residuos sólidos biodegradables	390
Consideraciones para el desarrollo del uso de la energía renovable basada en la biomasa en Costa Rica	403
Reutilização e processamento de refugos de cenoura para fabricação de farinha	413
Madeira plástica: uma revisão sobre sua fabricação e discussão sobre suas matérias-primas	420
Selección de tecnologías waste-to-energy mediante herramientas multicriterio.....	431
Análisis y propuesta de uso de los residuos sólidos generados en una empresa maderera	442
Evaluación de biosólidos de aguas residuales para producción de biogás: alternativa sostenible del manejo de rellenos sanitarios en Panamá.....	451
La digestión anaerobia para valorizar los residuos generados del procesamiento del aguacate.....	463
Análisis del potencial energético de los residuos sólidos urbanos para su aplicación como combustible de una central termoeléctrica	470
Modelo para el aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos desarrollado por organizaciones de recicladores de oficio en Bogotá D.C.	482
Análisis comparativo del desempeño de la etapa de recolección entre municipios poblacionalmente diferentes basado en indicadores	490
Gestión de los residuos sólidos en el municipio de Abasolo, Guanajuato, México	499
Residuos electrónicos en el paraguay, perspectiva para celulares y computadoras	507
Recogida separada de la fracción orgánica procedente de los residuos sólidos urbanos: resultados de la experiencia piloto desarrollada en Castellón de la plana (España)	518
Impacto de la instalación de un quinto contenedor para la recogida selectiva de biorresiduos en una zona costera y otra de interior en el este de España.....	529
Gestión de los Residuos Sólidos en Panamá: Evolución, Inventario, y Análisis de las Normas Existentes	541
Diseño de alternativas de recolección selectiva de residuos domiciliarios en la ciudad de las heras – santa cruz. evaluación económica y transferencia de tecnologías automáticas de recolección al contexto de una ciudad pequeña de Argentina.	550
Valorización de pérdida y desperdicio de alimentos, una visión de su ciclo de vida en un campus universitario.....	563
Evaluación de modelos de gestión de residuos en México y Chile a partir de indicadores	570
Gestión de residuos en playas mexicanas.....	584
Aspectos de eficiencia da coleta seletiva de Natal-RN-Brasil	590
El manejo de los residuos en municipalidades de México	600
A política nacional de resíduos sólidos como instrumento de valorização da dignidade humana	611
Avaliação do uso de EPIs pelos Catadores de Resíduos na Cidade de Campina Grande- PB	618
Comparação entre o nível de saúde dos catadores de resíduos de uma Cooperativa e uma Associação de catadores na Cidade de Campina Grande- PB.....	625

Avances en la gestión de los residuos sólidos municipales, caso Chile	634
Atuação dos empreendimentos de catadores na coleta seletiva do Maior São João do Mundo-Campina Grande – PB - Brasil	646
Desarrollo de alternativas técnicas de mantenimiento y mejoramiento de cauces hídricos a fin de minimizar los impactos por las inundaciones pluviales en los Bañados de Asunción	651
Fundamentação legal para os indicadores do icgra no estado do Rio Grande do Norte-Brasil.....	657
Inmovilización de arsénico en residuos de minería de la región Arequipa	668
Modelado en grafos de colocación de contenedores de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de Nayarit, México	678
Estrategias para el Diseño e Implementación de una Campaña de Educación Ambiental sobre los Residuos Sólidos Urbanos en un Departamento Rural en la Provincia de San Juan	688
Protección del ambiente a través del reciclado.....	697
Química verde aplicada en los cursos de Laboratorio de Química General en la Universidad Nacional en Costa Rica	705
Factores de éxito para la gestión de residuos valorizables en una universidad estatal de Costa Rica.....	712
Implantação da coleta seletiva em empresas no município de Campina Grande – PROPEX/UFCG	724
Aplicación de herramientas de minería de datos a encuestas en casa habitación en municipios del centro de México	730
Automação das leiras no Processo de compostagem do Laboratório de Tecnologias Agroambientais da UFCG.	737
Lecciones aprendidas por casos de deslizamientos ocurridos en rellenos sanitarios municipales, a partir de la recopilación de experiencias ocurridas en Latinoamérica	742
POSTER	753
Variables ambientales, sanitarias, socioeconómicas y epidemiológicas asociadas a la tasa de incidencia de dengue en asunción en 2012 y 2013.....	754
Resíduos Sólidos no Ambiente Urbano e os Risco para a Saúde Ambiental	768
Herramienta VBA en MS Excel para el diseño, construcción y etapas iniciales de operación en rellenos sanitarios manuales.....	773
Diagnóstico do lixão do município de São José de Espinharas – PB – Brasil	779
Evaluación de la generación actual de los residuos sólidos en la ciudad de San Lorenzo	787
Presencia de microplásticos en zona de baja y alta afluencia en una playa del golfo de México	799
Dosificación de morteros con plástico reciclado.....	808
Análisis de residuos sólidos por espectroscopía de plasma inducido por laser.....	816
Competencias para la sostenibilidad: estudio comparativo sobre competencias ambientales en los grados de la universidad jaume i y la universidad de cantabria, España.....	823

Transferencia de conocimiento de la universidad a la educación primaria. el proceso de composteo.....	835
Problemática de Resíduos Sólidos em Terrenos Baldios e Desafios para a Vigilância Ambiental.....	845
Alternativas en la gestión de la recogida separada de la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos urbanos.....	853
Producción de metano por digestión anaerobia de residuos.....	865
El tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos urbanos: tipos de plantas, tecnologías y equipamientos disponibles	878
La biomasa como amalgama estratégica en el entramado Iberoamericano: el caso de ReBiBiR (T).....	892

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}

¹*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*

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

³*Grupo 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.

1. 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 de aguas residuales dispuestos 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].

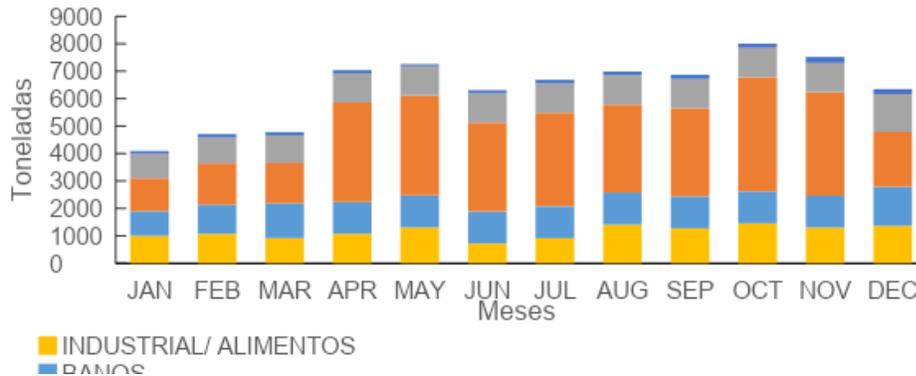


Figura 1. Según los registros de ingresos de biosólidos, los mayores volúmenes eran procedentes de limpiezas de tanques sépticos [2].

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, entre otras fuentes; cuya 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.

2. Metodología

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.

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 la interfaz infrarroja 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).

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

Actividades	Parámetros	Unidades	Período de Caracterización					
			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	2.8×10^8	1.2×10^4	1.1×10^5	1.5×10^7	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

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):

$$n_{CH_4} = \Delta P \cdot V_{IR} \cdot T_e \quad (1)$$

n_{CH_4} : Moles de CH_4 (mol); ΔP : Incremento de Presión en Sistema Oxitop (hPa); R : Constante de gases ideales ($atm \cdot mL / mol \cdot K$); T_e : Temperatura de ensayo ($^{\circ}K$).

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

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

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

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

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

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

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

$M_{CH_4 \text{ disuelto}}$: Concentración molar de CH_4 disuelto ($mol \cdot mL^{-1}$); M_{H_2O} : Concentración molar del agua ($mol \cdot mL^{-1}$); $X_{CH_4 \text{ disuelto}}$: fracción molar de CH_4 disuelto.

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

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

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

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

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

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

$$PBM = VT_{CH_4} g_{SV} \quad (9)$$

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_{CH_4}	Atm	41073.0481 6
M_{H_2O}	Mol/mL	0.181642
P_{CE}	Atm	1.0
T_{CE}	°K	273.15
Te	°K	298.15
V_u	L	0.5

3. Resultados y Discusión

Antes de iniciar el análisis de los resultados, es importante destacar que el uso del Sistema Oxitop en su modo de registro manométrico; es decir, de mediciones de presiones internas, ya que 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 CO_2 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 biosólido seco. Los valores del PBM para cada actividad fueron: Avícola: 10.6 mL CH_4/g SV; Comercial 41.56 mL CH_4/g SV; Hotelera 9.6 mL CH_4/g SV; y Municipal: 100.1 mL CH_4/g SV.

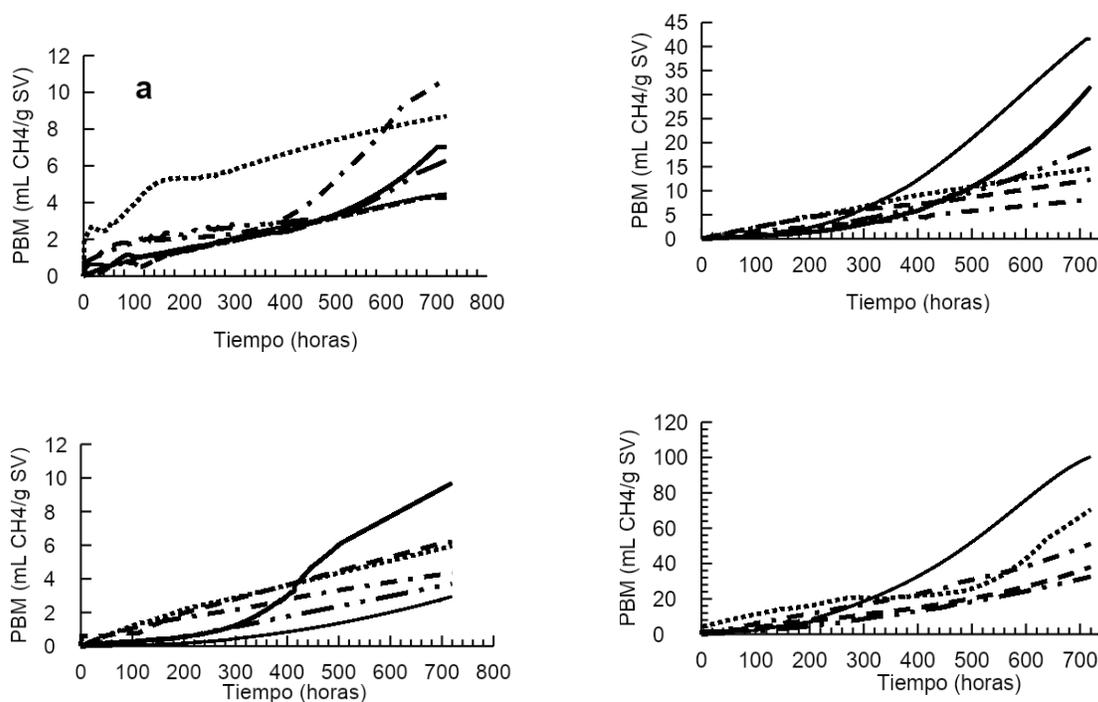


Figura 5. Potencial Bioquímico de Metano estimado para cada actividad económica en 6 meses de estudio, en base a los valores de presión registrados de los ensayos de digestividad anaeróbica: a) Avícola; b) Comercial; c) Hotelera; d) Municipal.

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.

3.1 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.

4. Conclusiones

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 los rendimientos en la producción de biogás. Esto podría ser a través del uso de residuos orgánicos que llegan a los rellenos sanitarios. Esta medida además de incrementar la generación de biogás, tendría el valor agregado que disminuiría el volumen de desechos que llegan a los rellenos sanitarios y en consecuencia incrementaría la vida útil de éstos.

5. Referencias

Ministerio de Economía y Finanzas. Informe Económico y Social Anual 2017, pág 87.

Planta de tratamiento de lodos y parque eco-industrial en el Relleno Sanitario de Cerro Patacón. Energaseo, S.A. 2016.

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/>

USDA, EPA, & DOE (2014). Biogas Opportunities Roadmap.

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).

SNE. (2016). Plan Nacional de Energía. Panamá.

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.

COPANIT 47-2000. Agua. Uso y disposición final de lodos, (2000).

Caldera Y.,& Gutierrez E.,“Aguas residuales de un matadero de aves: Características y tratamiento”, vol. II N°3, Intellectus, 2012, pág. 7

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.

WTW, M. S. (1998). Operating Manual. Systemen OxiTop® Control Germany

APHA.(2012). Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd Ed., Washington D.C.

EPA 200.7 (1982). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

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.

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.

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. Technology, pág 7-10.

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-hotelera>.

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.

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.

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.

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.

ASEP. (2018). Datos Relevantes del Mercado Eléctrico Panameño". may-2018.

UCP. (2015). Proyecto Saneamiento de la Ciudad y la bahía de Panamá. Retrieved from <http://www.saneamientodepanama.com/>

La Resolución n° 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.

INECO 2017. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027. TOMO II

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.