



VII Encuentro RedBioLAC
Chile 2015



VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE BIORRESIDUOS DE ORIGEN MUNICIPAL MEDIANTE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA CON RESIDUOS PORCÍCOLAS

Lina Marcela Cárdenas¹, Patricia Torres, Luis Fernando Marmolejo, Luz Edith Barba, María Camila Escobar y Juan Manuel Muñoz.

Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

¹lina.cardenas.cleves@correounivalle.edu.co



CONTENIDO



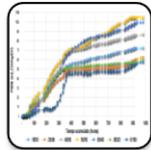
1. Introducción



2. Objetivos



3. Materiales y métodos



4. Resultados y análisis



5. Conclusiones



6. Bibliografía



1. INTRODUCCIÓN

- ✓ Consumo energético incrementa 2.3% anual.
- ✓ Controversia sobre disponibilidad de fuentes en el futuro.
- ✓ 86.4% de la demanda se ha cubierto con fuentes fósiles.

Fuentes de energía no renovables



Petróleo



Carbón



Gas Natural

(EIA, 2010)

¿SOSTENIBILIDAD?

Fuentes de energía alternativa



Geotérmica



Hídrica



Eólica



Solar



Biomasa



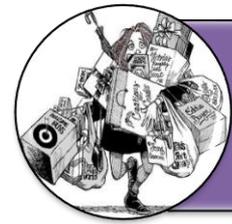
- ✓ Residuos sólidos municipales
- ✓ Residuos de animales



Crecimiento poblacional acelerado



Urbanización no planificada



Cambio en los hábitos de consumo



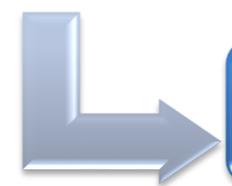
Mundo

- 2012: 1300 millones de ton
- 2025: 2200 millones de ton (Banco Mundial, 2012)



Latinoamérica

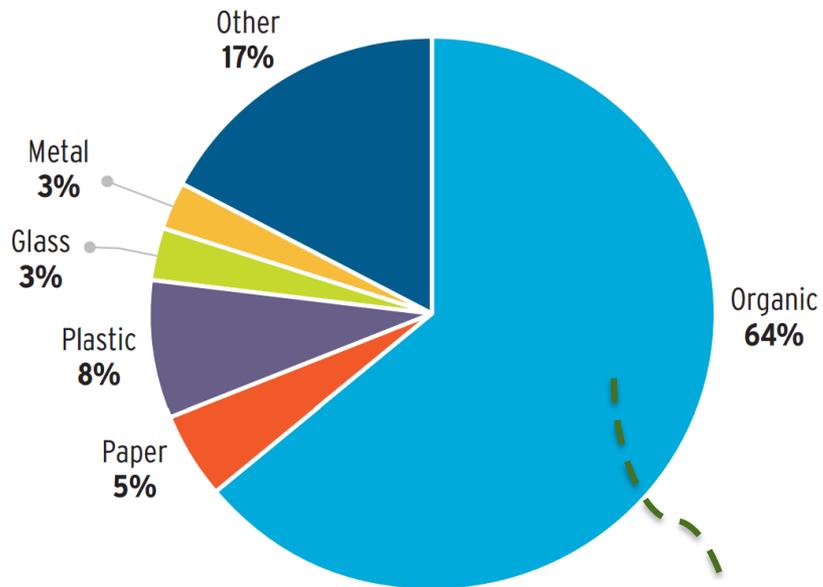
- 436 000 ton/d (OPS, AIDIS y BID, 2010)



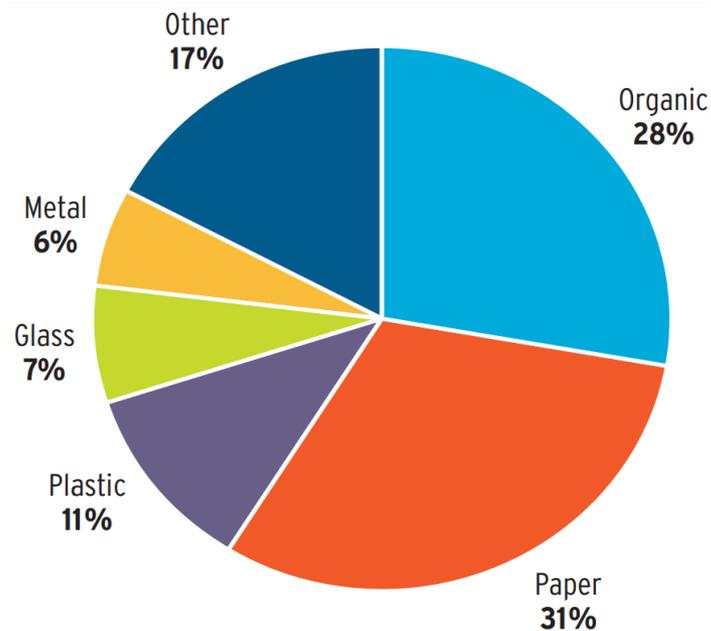
Colombia

- 26 726 ton/d (SSPD, 2013)

Países Ingresos **BAJOS**



Países Ingresos **ALTOS**



Fuente: Banco Mundial, 2012

BIORRESIDUOS

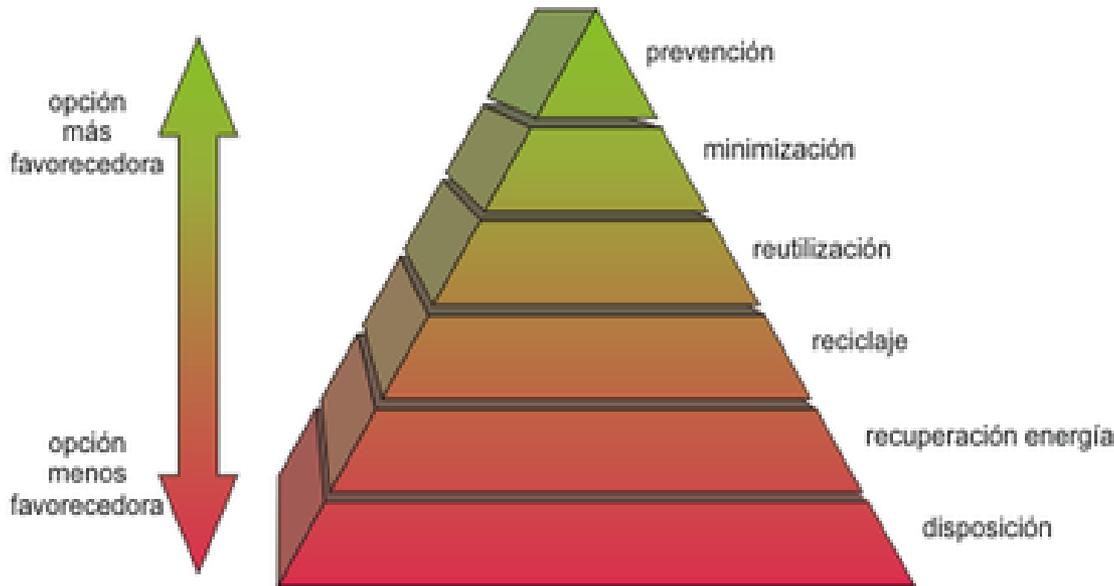


- Residuos de Comida
- Residuos de Poda y Jardín

(CCE, 2008)

En Colombia **65%** aproximadamente.

(Oviedo, 2015)



**Disposición en
“rellenos sanitarios”**

Impactos sobre el ambiente

- Deterioro paisajístico
- Pérdida vida útil rellenos sanitarios
- Generación de malos olores, gases efecto invernadero y lixiviados

Impactos sobre la salud

- Proliferación de vectores y roedores



Aprovechamiento y Valorización de BOM (Alternativas Biológicas)



Compostaje



Tratamiento con invertebrados



Digestión anaerobia (DA)

Limitaciones del sustrato:

- pH y Alcalinidad bicarbonática
- Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N)
- Nutrientes (Macro y micro)



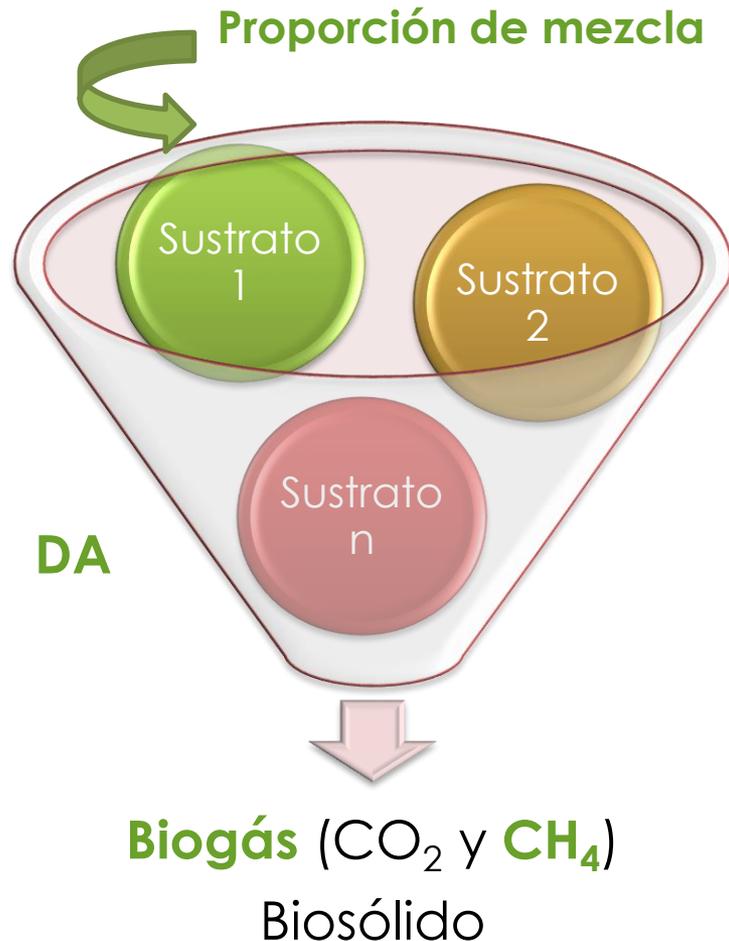
Co-digestión anaerobia

Mezcla de sustratos con características complementarias para incrementar producción de CH_4



Co-DA de BOM principalmente con:

Co-digestión anaerobia (Co-DA)



Estiércol



Lodos PTAR



- ✓ **Generación:** 10-20 L/animal-día (González, 2003)
- ✓ Incremento del sector porcícola en el Valle del Cauca (2 265 577 m^3 / año) (ICA, 2013)
- ✓ Gestión inadecuada: Contaminación ambiental

Fuente: Mata et al. (2014)



2. OBJETIVOS

General

- Evaluar a escala de laboratorio el potencial de producción de CH_4 a partir de la Co-DA de BOM con purín de cerdo.

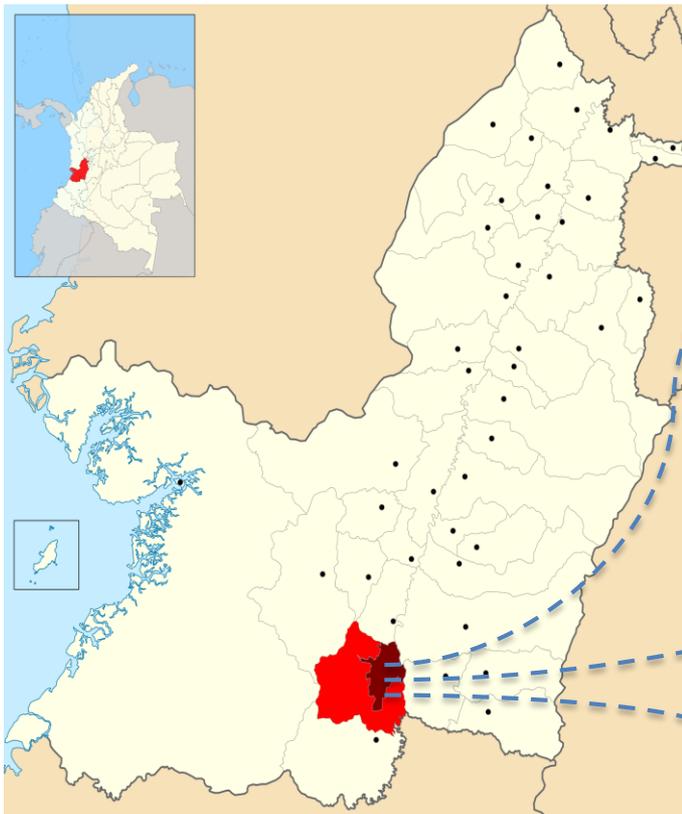
Específico

- Evaluar la influencia de la proporción de mezcla de sustratos sobre la producción de CH_4 .



3. MATERIALES Y MÉTODOS

- **Fase 1:** Caracterización de sustratos e inóculo



Sustrato 1 (S_1)



BOM

Sustrato 2 (S_2)



Purín de cerdo (PC)

Inóculo



Lodo anaerobio PTAR

- Fase 1:** Caracterización de sustratos e inóculo

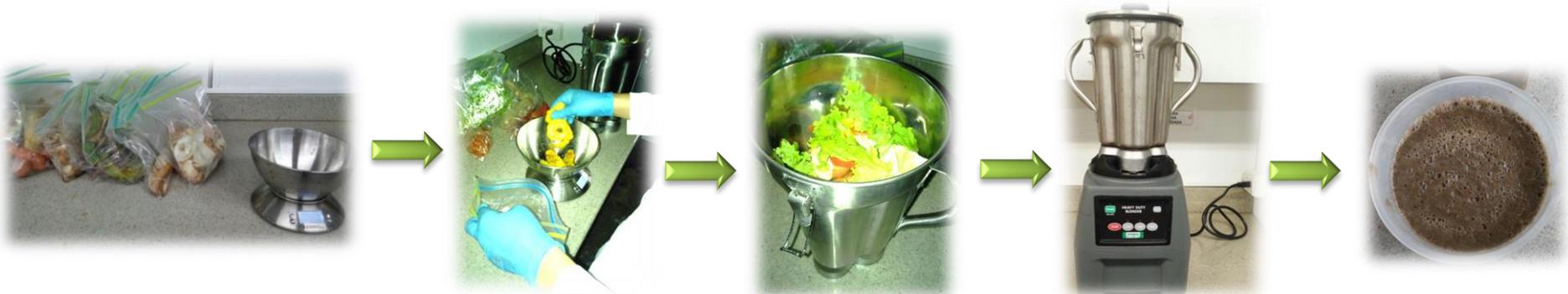
Sustrato 1 (S_1)

Composición BOM

Parámetro	Proporción (%)
Carbohidratos	56
Frutas cítricas y semi cítricas	25
Frutas no cítricas	8.2
Fibra y mezcla de minerales	8.2
Hierbas	3.2

Adaptada de: Marmolejo (2011); Oviedo (2015).

Acondicionamiento y pretratamiento





Sustrato 1 (S_1)



BOM

Sustrato 2 (S_2)



Purín de cerdo (PC)

Inóculo



Lodo anaerobio PTAR

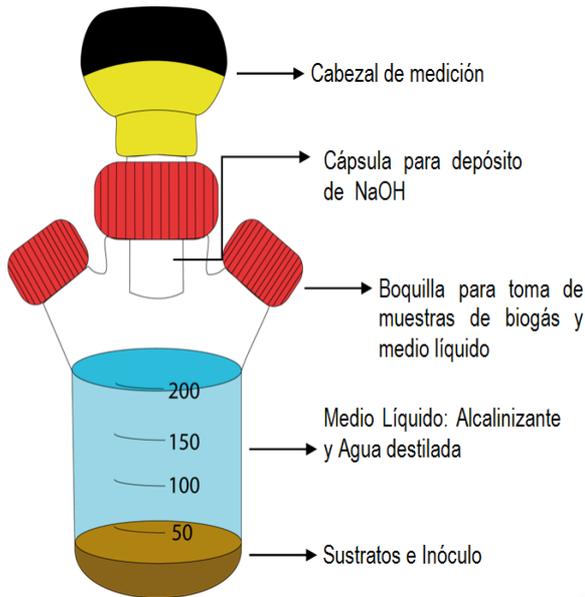
Tabla 1. Caracterización fisicoquímica sustratos

Parámetro	Unidad
pH	Unidades
Humedad	%
Alcalinidad Total (AT)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹
Alcalinidad Bicarbonática (AB)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹
Ácidos Grasos Volátiles (AGV's)	mg.L ⁻¹
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg. L ⁻¹
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg. L ⁻¹
Sólidos Totales (ST)	mg. L ⁻¹
Sólidos Volátiles (SV)	mg. L ⁻¹

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica inóculo

Parámetro	Unidad
pH	Unidades
AT	Unidades
AB	mgCaCO ₃ .L ⁻¹
AGV's	mg.L ⁻¹
ST	mg.L ⁻¹
SV	mg.L ⁻¹
Relación STV/ST	-
Actividad Metanogénica Específica (AME)	gDQO.(gSV.d) ⁻¹

• Fase 2: Ensayos de potencial bioquímico de metano (PBM)

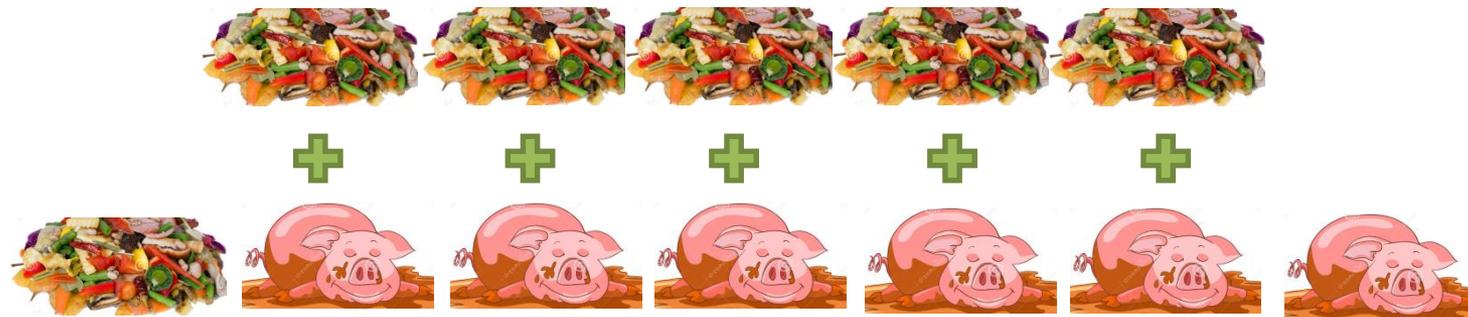


Condiciones Operacionales

- **Volumen total:** 250 mL
- **Volumen libre:** 50 mL
- **Temperatura:** 35°C
- **pH:** Ajustado a 7 unidades con solución de bicarbonato de sodio
- **Captura CO₂:** 4 perlas de NaOH
- **Parámetros de control:** pH, AT, AB, Índice α (AB/AT)
- **Agitación:** Manual intermitente
- **Duración ensayo:** 41 días

Figura 1. Unidad experimental- Sistema OxiTop®





%BOM (gSV L ⁻¹)	100 (1.5)	80 (1.2)	60 (0.9)	50 (0.75)	40 (0.6)	20 (0.3)	0 (0)	Control
% PC (gSV L ⁻¹)	0 (0)	20 (0.3)	40 (0.6)	50 (0.75)	60 (0.9)	80 (1.2)	100 (1.5)	
I (gSV L ⁻¹)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

- ✓ **Relación S/I= 1** (Parra et al., 2015)
- ✓ Duplicado

Análisis estadístico

Influencia de la proporción de mezcla sobre el PBM (ANOVA y Prueba de Tuckey)



4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

- Fase 1:** Caracterización de sustratos e inóculo

Tabla 3. Resultados caracterización fisicoquímica de sustratos e inóculo

Parámetro	BOM	PC	Inóculo	Unidad
pH	5.6 ±0.1	7.6 ±0.5	7.2 ±0.1	Unidades
AT	4021.6 ±247.5	8716.2 ± 2250.2	4537.9 ±558.9	mgCaCO ₃ .L ⁻¹
AB	0	5645.9 ±417.6	2341.5 ±380.3	mgCaCO ₃ .L ⁻¹
AGV's	3650.4 ± 235.0	3962.5 ± 21.4	1283.9 ± 35.6	mg.L ⁻¹
DQO _{Total}	112522 ±410.5	567231.0 ± 47844.3	-	mg. L ⁻¹
DBO ₅	66950.0 ± 0.0	188604.3 ±14038.2	-	mg. L ⁻¹
ST	110730.5 ±488.0	364252.5 ± 5936.2	88565.0 ± 586.9	mg. L ⁻¹
SV	93410.5 ±331.0	105175 ±4278	37907.5 ± 579.4	mg. L ⁻¹
SV/ST	0.84	0.29	0.43	-
AME	-	-	0.008 ± 0.001	gDQO.(gSV.d) ⁻¹

Número de datos: 4; ± Desviación Estándar

• **Fase 2:** Ensayo PBM

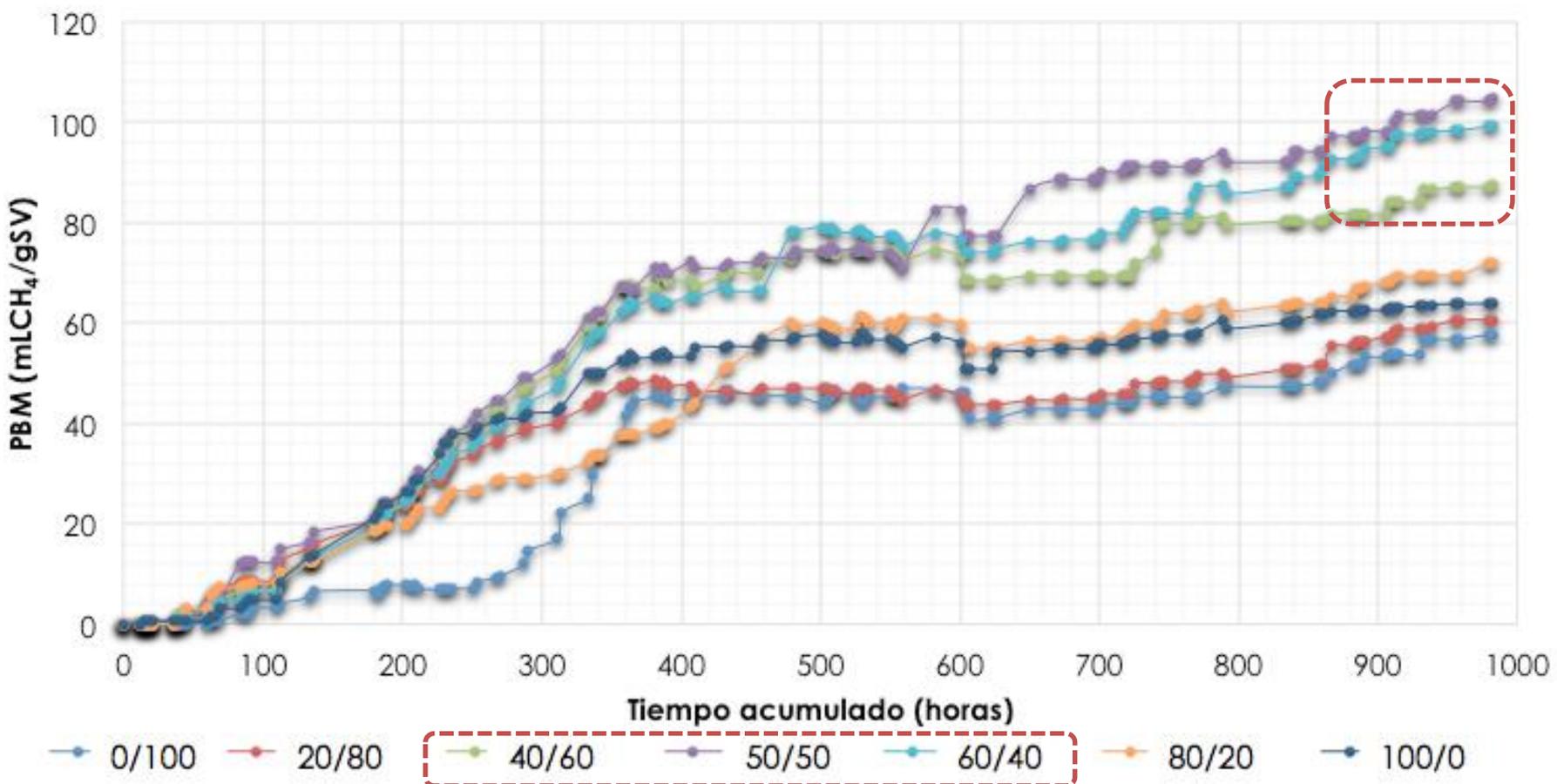


Figura 2. Valores e PBM para cada proporción de mezcla evaluada

PBM entre 57.74 (0:100) y 104.26 (50:50) mL CH₄ .gSV⁻¹
 PBM Control= 57.64 mL CH₄ .gSV⁻¹

Análisis estadístico

- ✓ **ANOVA ($p < 0.05$):** La proporción de mezcla influye sobre el PBM
- ✓ **Prueba de Tuckey ($p < 0.05$) :** Relaciones 60:40, 50:50 y 40:60 son estadísticamente iguales y difieren de las otras

Tabla 2. Parámetros de control medidos al final del ensayo

Proporción BOM: PC	PBM (mL CH ₄ .gSV ⁻¹)	Energía (KWh/sem)	pH	AB	AT	índice α
100:0	63.90	525,84	8.05	113.42	195.08	0.58
80:20	72.06	592,98	7.86	103.44	200.52	0.52
60:40	99.30	817,14	7.79	165.02	219.69	0.75
50:50	104.26	857,96	8.49	175.80	216.40	0.81
40:60	87.18	717,41	8.26	161.05	227.51	0.71
20:80	60.70	499,50	9.31	528.75	983.89	0.54
0:100	57.74	475,14	6.73	127.03	281.61	0.45

pH (Unidades); AT y AB (mg CaCO₃.L⁻¹)

Recomendable: Estabilidad Índice $\alpha > 0.7$



5. CONCLUSIONES

- La co-digestión de BOM con el purín de cerdo (PC), incrementó el potencial de producción de CH_4 y por consiguiente de generación de energía eléctrica.
- Se comprobó, mediante análisis estadísticos, que la proporción de mezcla de sustratos es un parámetro operacional que tienen influencia sobre el valor del PBM.
- Las mayores producciones de CH_4 se obtuvieron en las proporciones de BOM: PC de 60:40, 50:50 y 40:60, el PBM en estas proporciones fue de 99.30, 104.26 y 87.18 $\text{mLCH}_4 \text{ gSV}^{-1}$.



6. BIBLIOGRAFÍA

- CCE (2008). Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea. Comisión de las Comunidades Europeas. Bruselas.
- EIA (2010). Energy Information and Administration. International Energy Statistics. Disponible en:
<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=44&pid=44&aid=1>.
- González, S. (2003). Caracterización de los purines de cerdo. En *Taller de Capacitación en Evaluación Ambiental de Planteles Ganaderos* (págs. 23- 44). Santiago de Chile.
- Banco Mundial. (2012). *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*. World Bank, Washington, DC.
- ICA- Instituto Colombiano Agropecuario. (2013). *Censos agropecuarios del año 2013*. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura.
- Marmolejo, L. (2011). Marco conceptual para el aprovechamiento en Plantas de Manejo de Residuos Sólidos de poblaciones menores a 20.000 habitantes del Norte del Valle del Cauca -Colombia. Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. *Tesis Doctoral*. Cali- Colombia.



- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M. y Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 36: 412-427.
- OPS, AIDIS y BID. (2010).
- Oviedo, R. (2015). Estrategias para la optimización del proceso y calidad del product del compostaje de biorresiduos en municipios menores a 15000 habitantes de países en desarrollo. Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. *Tesis Doctoral*. Cali- Colombia.
- Parra, B., Torres, P., Marmolejo, L., Cárdenes, L., Vásquez, C., Torres, W. y Ordoñez, J. (2015). Efecto de la Relación Sustrato-Inóculo sobre el Potencial Bioquímico de Metano de Biorresiduos de Origen Municipal. *Ingeniería Investigación y Tecnología XVI(4)*: 515-526.
- SSPD (2013). Disposición Final de Residuos Sólidos en Colombia 2013. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Bogotá D.C.
- Torres, P. y Pérez, A. (2010). Actividad Metanogénica Específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 9(9): 5-14.





MUCHAS GRACIAS



Universidad
del Valle



Lina Marcela Cárdenas
Ingeniera Sanitaria
Estudiante de MSc. en Ing. Sanitaria y
Ambiental
Universidad del Valle, Cali, Colombia.

lina.cardenas.cleves@correounivalle.edu.co