



TecnoParque
COLOMBIA

**Actividad metanogénica de lodos procedentes de Villavicencio y Busbanzá,
Boyacá.**

**Angie Alejandra Vargas Rivera
Bayron Steban Daza Martinez
David Felipe Salas Lozano**

Trabajo de investigación para optar el título de Bacteriólogos y Laboratoristas Clínico

Asesor

**Judith Elena Camacho Kurmen, QF MSc
Dr. en Biociencias**

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de la Salud
Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá
2019**

Introducción

Los residuos industriales con alto contenido de materia orgánica provenientes de industrias cerveceras, alimenticias, y agrícolas, son tratados con métodos químicos y físicos poco eficientes y de alto costo. Los métodos biológicos como la digestión anaerobia y el uso de lodos metanogénicos (importados en Colombia) son utilizados por su bajo costo y efectividad en el tratamiento de estos vertimientos y la producción de energía en forma de biogás. Los lodos procedentes de lagos, lagunas y ríos, son posibles inóculos a utilizar en el proceso de Digestión Anaerobia aprovechando la biodiversidad de Colombia. ^{1, 2, 5}



Laguna Busbanza (Boyacá)
Fuente: los autores, 2018

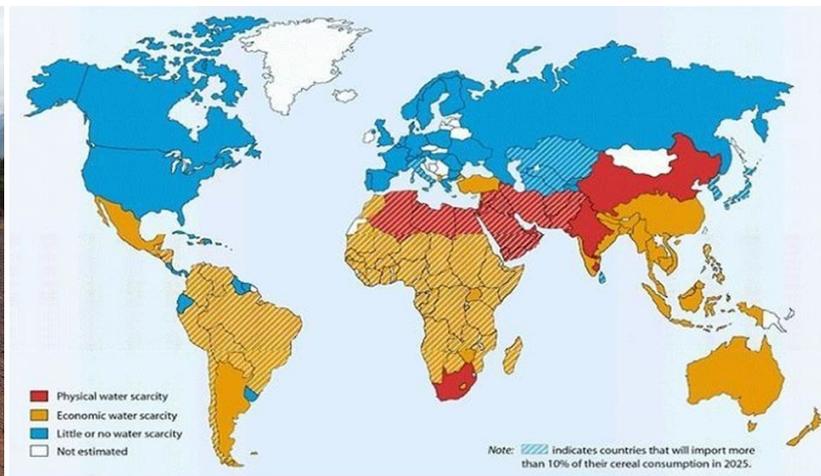


Figura 2. Mapa de escasez del agua
Fuente: (30)



Río Quenane (Meta). Fuente:
los autores, 2018

Objetivos

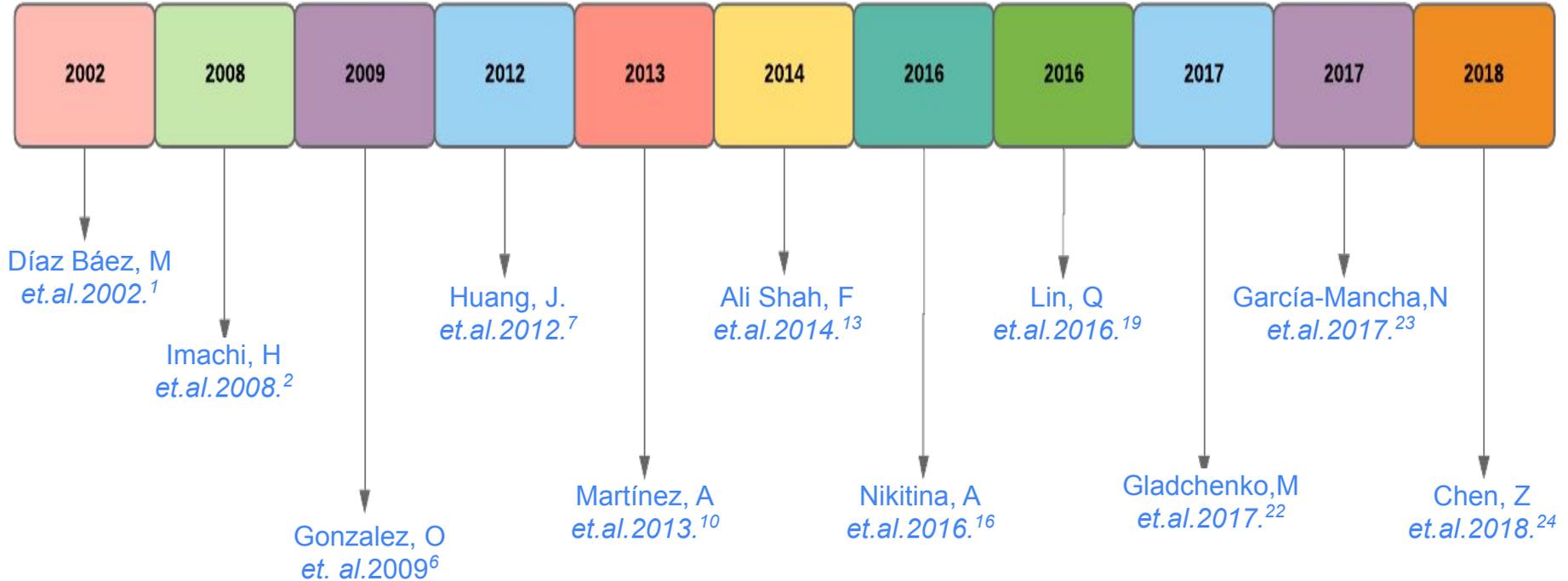
Objetivo general

Determinar la actividad metanogénica de los lodos de la laguna de Busbanzá (Boyacá) y el Río Quenane (Villavicencio)

Objetivos específicos

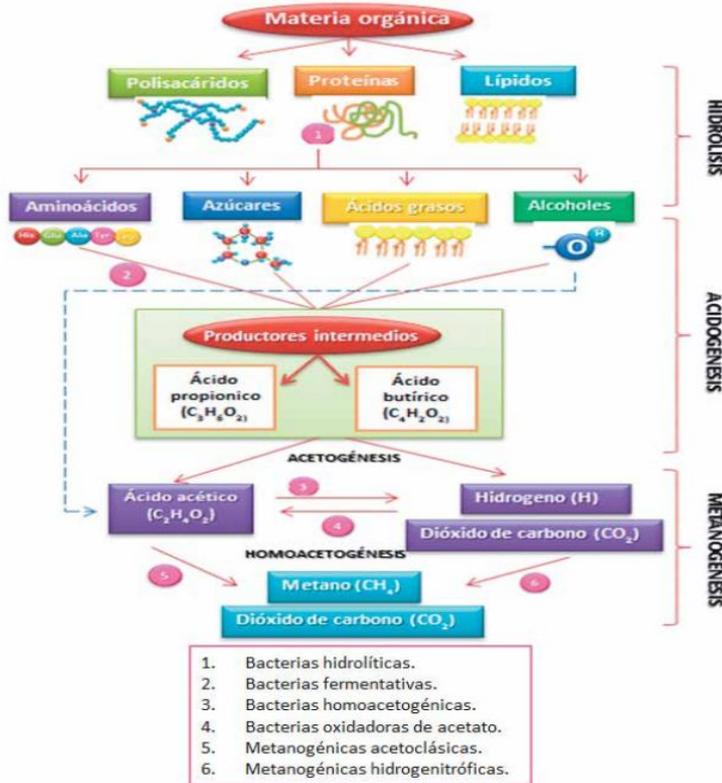
- Realizar análisis fisicoquímico a los lodos procedentes de la Laguna de Busbanzá (Boyacá) y el Río Quenane de Villavicencio (Meta).
- Caracterizar microbiológicamente los lodos muestreados.
- Relacionar AME (Actividad Metanogénica Específica) de los lodos muestreados y las poblaciones microbianas presentes para proponerlos como fuentes de inóculos para la digestión anaerobia.

Antecedentes

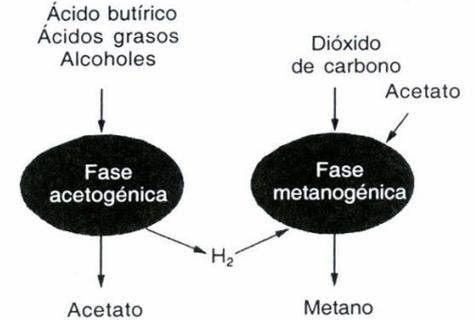


Marco referencial

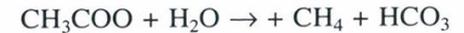
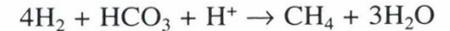
Etapas principales de la digestión anaerobia



Clostridium
Eubacterium
Bacterioides
Peptococcus
Propionibacterium
Syntrophobacter
Desulfovibrio
Syntrophomonas
Methanobacterium
Methanobacillus
Methanococcus



Íntima relación entre las bacterias acetogénicas y metanogénicas.



Fuente: Kleerebezem, R., Jooisse, B., Rozendal, R., Van Loosdrecht, M. (2015). Anaerobic digestion without biogas?. *Rev Environ Sci Biotechnol*.14:787–801

Microorganismos presentes en cada etapa de la digestión anaerobia

	HIDRÓLISIS	ACIDOGÉNESIS	ACETOGÉNESIS	METANOGÉNESIS
M I C R O O R G A N I S M O S	- <i>Bacteroides</i>	- <i>Clostridium</i>	- <i>Clostridium aceticum</i>	- <i>Methanobacterium</i>
	- <i>Lactobacillus</i>	- <i>Paenibacillus</i>	- <i>Clostridium formicoaceticum</i>	- <i>Methanospirillum hungatii</i>
	- <i>Propionibacterium</i>	- <i>Ruminococcus</i>	- <i>Acetobacterium wooddi</i>	- <i>Methanosarcina</i>
	- <i>Sphingomonas</i>		- <i>Syntrophobacter woolinii</i>	- <i>Methanococci</i>
	- <i>Sporobacterium</i>		- <i>Syntrophomonas wolfei</i>	
	- <i>Megasphaera</i>			
	- <i>Bifidobacterium</i>			
	- <i>Peptostreptococcus</i>			
	- <i>Micrococcus</i>			

Fuente: Acuña González, P., Ángel García, L., Borrás Montoya, E., Corrales Ramírez MSC, L. and Sánchez Leal MSC, L. Aislamiento e identificación de microorganismos del género Methanococcus y Methanobacterium de cuatro fuentes de Bogotá D.C. Nova.2008;6(10):156.³

Corrales, L., Antolínez Romero, D., Bohórquez Macías, J. and Corredor Vargas, A. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Nova. 2015;13(24):55.³⁷

Lorenzo Acosta, Y. and Obaya Abreu, M. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. 2005; XXXIX(1):35-48.³⁸

MANUAL DE BIOGÁS. [evos] Santiago de Chile: Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables*. 2011:11-62. Available at: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> [Accessed 8 May 2019].³⁹

Propiedades de un lodo granular

CARACTERÍSTICA	INTERVALO
Densidad (kg/m^3)	1028 a 1082
Relación SSV/SST	0.45 a 0.90
Velocidad media de sedimentación (m/h)	53 a 100
Diámetro medio de gránulos (mm)	0.8 a 2.2
Actividad metanogénica ($\text{gDQO-CH}_4/\text{gSSV/d}$)	0.2 a 1.9

Fuente: Díaz-Báez M, Espitia S, Molina F. Digestión anaerobia. Bogotá, D.C. Universidad Nacional de Colombia; 2002.¹



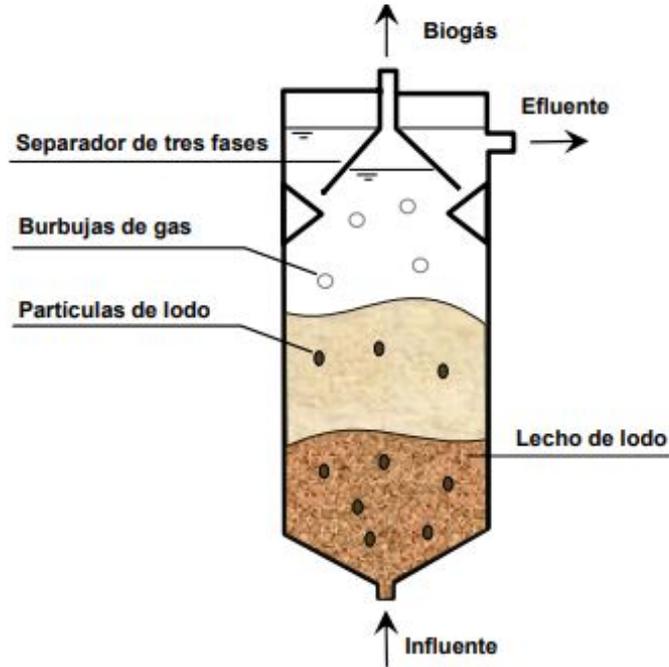
Figura 11. Lodos en estudio (empresa farmacéutica, río Quenane, Villavicencio, Meta y Laguna de Busbanzá, Boyacá)

Fuente: realizado por los autores

Composición química de lodos obtenidos de las etapas de tratamiento

Parámetros	Lodos primarios	Lodos secundarios (mezcla)	Lodos digeridos
pH	5,5 - 6,5	6,5 - 7,5	6,8 - 7,6
Contenido de agua (%)	92 - 96	97,5 - 98	94 - 97
ssv (%sst)	70 - 80	80 - 90	55 - 65
Grasas (%sst)	12 - 14	3 - 5	4 - 12
Proteínas (%ss)	4 - 14	20 - 30	10 - 20
Carbohidratos (%ss)	8 - 10	6 - 8	5 - 8
Nitrógeno (%ss)	2 - 5	1 - 6	3 - 7
Fósforo (%ss)	0,5 - 1,5	1,5 - 2,5	0,5 - 1,5
Bacterias patógenas (NMP/100 ml)	$10^3 - 10^5$	100 - 1000	10 - 100
Metales pesados (%ss) (Zn, Cu, Pb)	0,2 - 2	0,2 - 2	0,2 - 2

Reactor UASB



Parámetros de seguimiento en un reactor:

- Temperatura: Grado o nivel térmico
- pH: Expresa las concentraciones de iones de H^+ libres.
- DQO: Cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica
- DBO: Bantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de sustancias orgánicas
- Acidos grasos volatiles: Subgrupo de ácidos grasos con cadenas carbonadas de menos de seis carbonos.
- Alcalinidad: Indica la cantidad de componentes alcalinos(carbonatos y bicarbonatos)
- Sólidos: Material suspendido en el agua ya sea de carácter residual o natural, ^{1,7,8,16,44}

Digestión anaerobia

VENTAJAS

- No requiere aireación
- Menos olores si se cierra el proceso
- Produce metano
- Produce menos biomasa o lodos.^{7,8,16,44}

DESVENTAJAS

- Proceso requiere buen mezclado
- Temperatura alrededor de 37 °C
- Sustrato con alto DBO (1.2 - 2 g/L)
- Tiempos de retención largos (30 - 60 días).^{7,8,16,44}

Actividad metanogénica específica

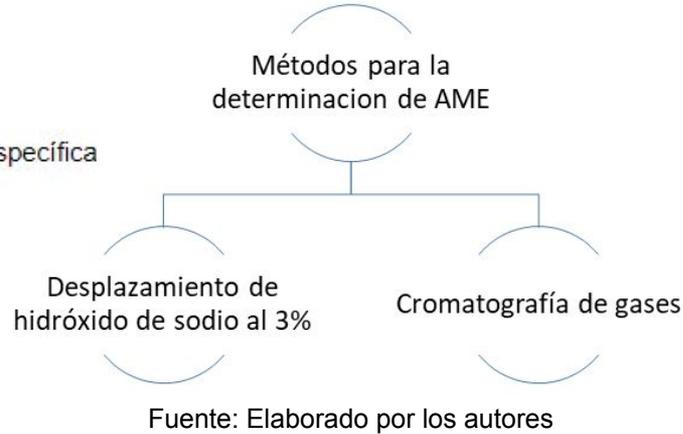
$$AME = P * 24 / FC * V * SSV$$

Ecuación 1. Cálculo de Actividad Metanogénica Específica



Figura 12. Montaje realizado por los autores ^{1,5}

Fuente: Torres Lozada, P. and Pérez, A. ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010; 9:5-14.



Fuente: Jenck S.A. / Av. Álvarez Thomas 228, Buenos Aires, Argentina / (11)4014-5300

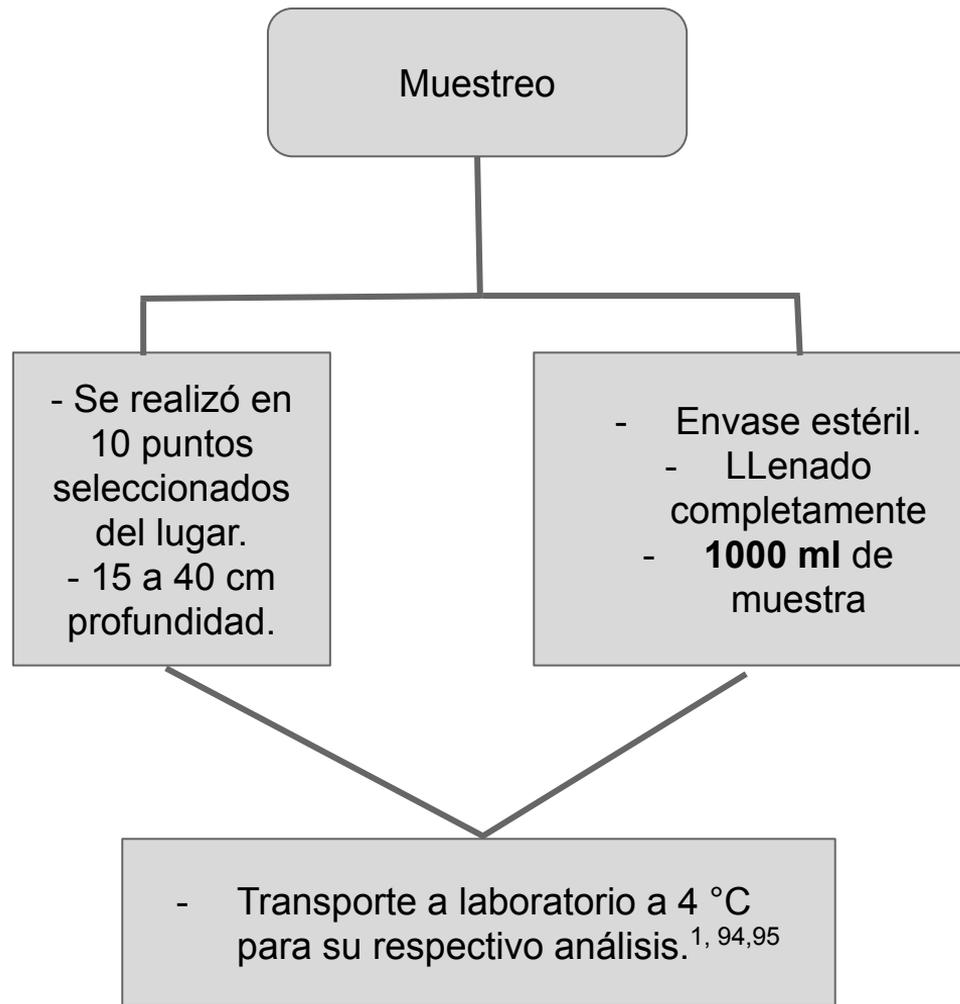
DISEÑO METODOLÓGICO



FASE 1. Caracterización fisicoquímica a los lodos procedentes de la Laguna de Busbanzá (Boyacá) y el Río Quenane de Villavicencio (Meta).



Figura 5. Imagen tomada por los autores





Latitud: 5.8491667

Longitud: -72.86416666666666

GMS (grados minutos segundos):

Lat. N 5° 50' 57" Long. O 72° 51' 51"

Altitud: 2472 m / 8110 ft

Figura 6. Ubicación exacta de la toma de muestra en Busbanzá, Boyacá

Fuente: Google maps

Latitud: 4.080555555555556

Longitud: -73.51055555555556

GMS (grados minutos segundos):

Lat. N 4° 4' 50" Long. O 73° 33' 38"

Altitud: 355 m / 1164 f



Figura 7. Ubicación exacta de la toma de muestra en Villavicencio, Meta

Fuente: Google maps

Caracterización fisicoquímica de los lodos

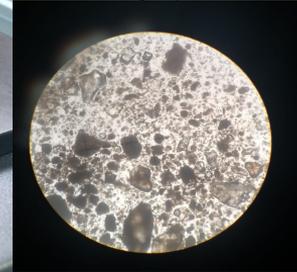
pH

Potenciómetro
marca Hanna¹



Granulometría

ANOVA (95%) Y
Tukey (95%)



- Agar
bacteriológico,
alternativa
gelatina sin
sabor.
- 1 ml de cada
lodo por 3 cajas
de petri¹

Figura 8. Potenciómetro Hanna

Fuente:
https://www.hannachile.com/sites/default/files/styles/geral_medium/public/externals/2ae3464e8f8ce59447e636e735ebc5eb.jpg?itok=wtvVbXbV

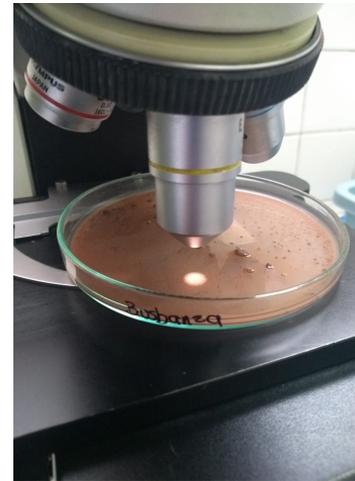


Figura 9. Granulometría

Fuente: Imagen tomada por los autores

EASE 2. Caracterización microbiológica de los lodos

- **NMP** (número más probable).
- Se realizaron tres diluciones seriadas por quintuplicado por cada medio de cultivo.

- Para cada medio de cultivo se emplearon **controles negativos** para las posteriores lecturas.



Figura 10. Medios de cultivo

Fuente: Imagen tomada por los autores

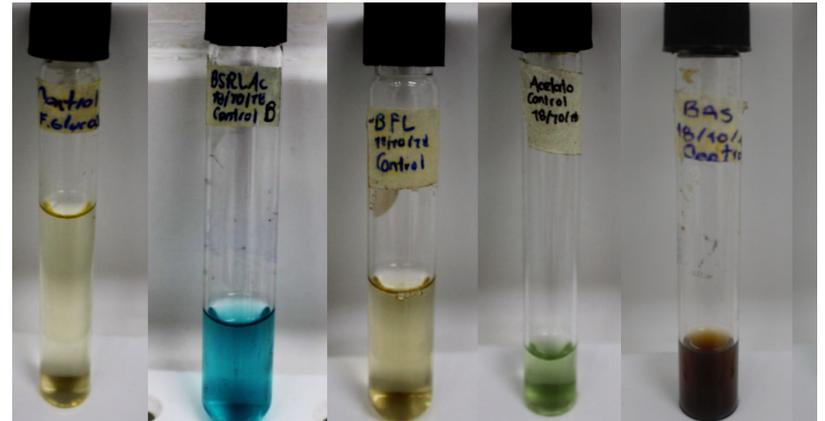


Figura 11. Controles negativos de cada medio de cultivo

Fuente: Imagen tomada por los autores

Caracterización microbiológica de los lodos

Bacterias
anaerobias estrictas
(BAS)



Sustrato: Glucosa
Incubación: 37°C en
CO₂, 5 a 8 días.
Lectura: FeS,
coloración negra

Bacterias
fermentadoras de
glucosa (BFG)



Sustrato: Glucosa
Incubación: 37°C en
CO₂, 5 a 8 días.
Lectura: acidificación
del medio, viraje de
color de verde a
amarillo.

Bacterias
fermentadoras de
lactosa (BFL)



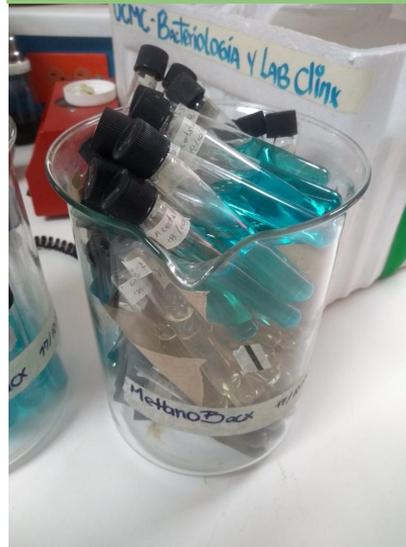
Sustrato: Glucosa
Incubación: 37°C en
CO₂, 5 a 8 días.
Lectura: acidificación
del medio, viraje de
color de verde a
amarillo.

Caracterización microbiológica de los lodos

Bacterias
sulfatoredutoras del
lactato (BSRL)

Sustrato: Lactato
Incubación: 37°C en
CO₂, 7 a 15 días.
Lectura: FeS,
coloración negra

ANOVA (95%) Y
Tukey (95%)



Bacterias
sulfatoredutoras del
acetato (BSRA)

Sustrato: Acetato
Incubación: 37°C en
CO₂, 7 a 15 días.
Lectura: FeS

EASE 3. Determinación de Actividad metanogénica específica y relación con poblaciones microbianas identificadas



Figura 12. Montaje realizado por los autores ^{1, 5}

Fuente: Torres Lozada, P. and Pérez, A. ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECIFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010; 9:5-14.

- Cada montaje de lodo fue realizado por triplicado.
- Desplazamiento de Hidróxido de sodio al 3%, ANOVA (95%) y Tukey (95%).
- **Control (+)**= Lodo Farmacéutica
- **Control (-)**= Lodos sin sustrato

$$AME = P * 24 / FC * V * SSV$$

Ecuación 1. Cálculo de Actividad Metanogénica Específica ¹

Cálculos:

P= pendiente de la gráfica en ml/hora

Factor de conversión * 760 / Presión atmosférica del lugar

P atm Bogotá = 560 mmHg

Factor de conversión (FC)= a 20° C y ml de CH₄ Húmedo/ g DQO = 385

Corrección = 385 * 760 / 560

Corrección = 522,5

V= Volumen de lodo utilizado en el ensayo

SSV= Sólidos ¹



Resultados

FASE 1.

Caracterización físicoquímico a los lodos procedentes de la Laguna de Busbanzá (Boyacá) y el Río Quenane de Villavicencio

Característica físicoquímica	Lodo Laguna de Busbanzá	Lodo río Quenane	Lodo empresa farmacéutica	ANOVA (95%) P <0,05 existen diferencias significativas entre tratamientos			Tukey (95%)
	Resultado			P	F	gl	HSD
Granulometría	0,98 µm	1,07 µm	0,697 µm	1,945	17,546	8	0,13
pH	5,08	5,20	7,2	-			-
SST en lodos en estudio	1.295.000 mg/l	1.181.333 mg/l	556.917	0,019	19,380	2	533509,51
SSV en lodos en estudio	376.665 mg/l	117.250 mg/l	481.250 mg/l	0,005	47,003	2	203870,8
Relación SSV/SST	0,209	0,099	0,864	-			-
DQO	384 mg/L DQO	215 mg/L DQO	351 mg/L DQO	-			-

Tabla 13. Resumen de resultados obtenidos de los lodos en estudio

Fuente: realizado por los autores

LODO GRANULAR	
CARACTERÍSTICA	INTERVALO
Densidad (kg/m ³)	1028 a 1082
Relación SSV/SST	0.45 a 0.90
Velocidad media de sedimentación (m/h)	53 a 100
Diámetro medio de gránulos (mm)	0.8 a 2.2
Actividad metanogénica (gDQO-CH ⁴ /gSSV/d)	0.2 a 1.9

Discusión / Físico-químico

- Gránulos < 0.5 - 5 mm.^{71,85}
- pH ideal 6.5-7.5.^{59,72, 73, 74,75,93}
- Relación directamente proporcional entre [] ST y producción de metano.^{70, 72, 74,75}
- Relación SSV/SST valor similar al que presenta un lodo granular (0.45 - 0.90).^{1,92}
- Relación inversamente proporcional: DQO y cantidad de poblaciones microbianas.^{1,33}

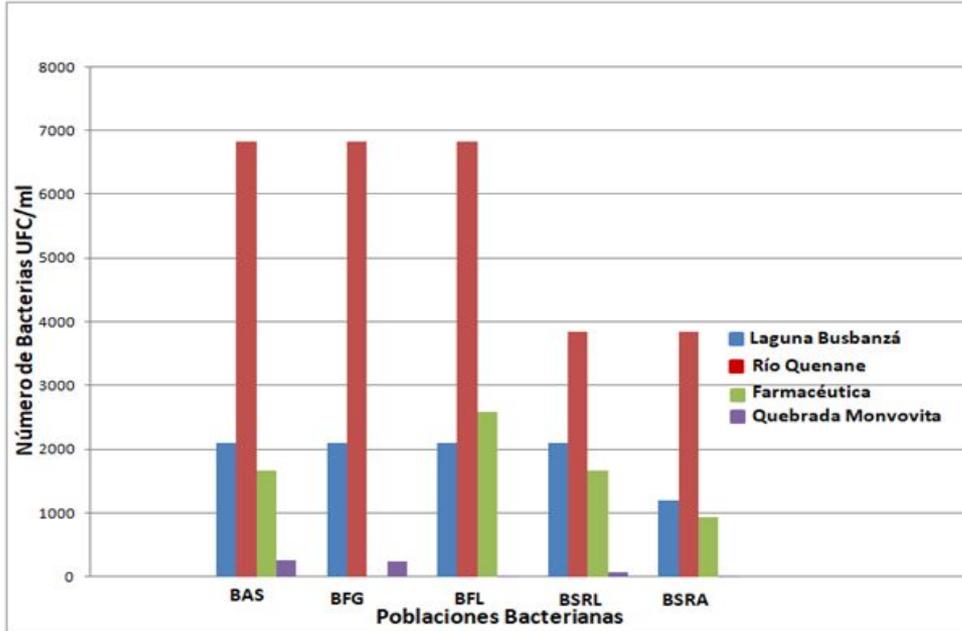


Fuente:Elaborado por los autores

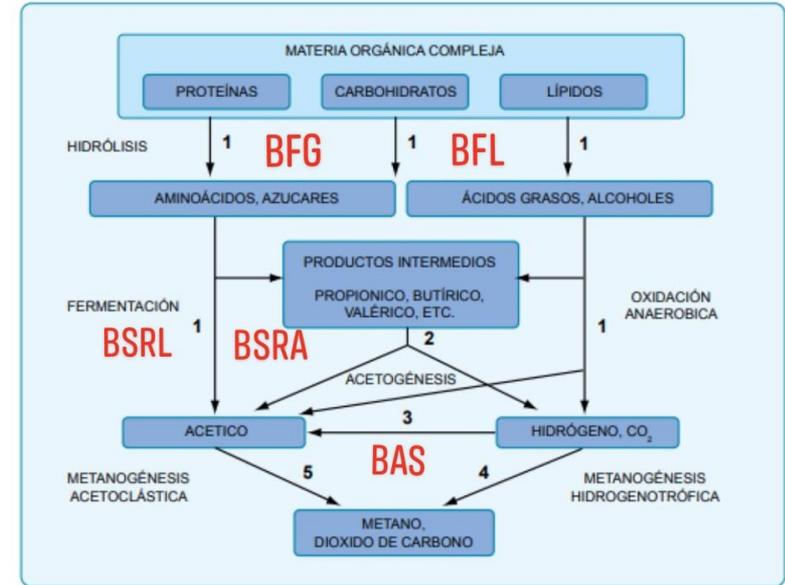


Figura 9. Spectroquant NOVA 60
Fuente: imagen tomada por los autores

FASE 2. Caracterización microbiológica de los lodos



Gráfica 1: Poblaciones Bacterianas obtenidas por técnica de NMS para lodos de Laguna Busbanzá, Río Quenane, Farmacéutica y Quebrada Moncovita.
Fuente:Elaborado por los autores



Característica fisicoquímica	Lodo Laguna de Busbanzá	Lodo río Quenane	Lodo empresa farmacéutica
	Resultado		
DQO	384 mg/L DQO	215 mg/L DQO	351 mg/L DQO

Tabla 13. Resumen de resultados obtenidos de los lodos en estudio
Fuente: realizado por los autores

Resultados

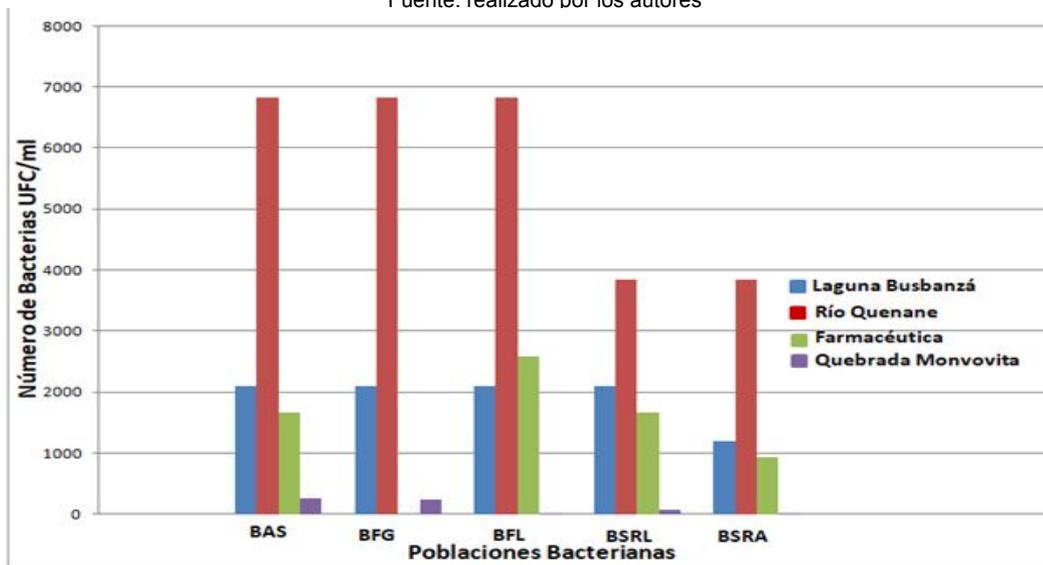
FASE 2.

Caracterización microbiológica a los lodos procedentes de la Laguna de Busbanzá (Boyacá) y el Río Quenane de Villavicencio

Característica fisicoquímica	Lodo Laguna de Busbanzá	Lodo río Quenane	Lodo empresa farmacéutica	ANOVA (95%) P <0,05 existen diferencias significativas entre tratamientos			Tukey (95%)
	Resultado			P	F	gl	HSD
Número de bacterias UFC/mL	2,1 x 10 ⁴	3,68 x 10 ³	1,66 x 10 ³	0,01	7,31	3	2454
Clases de bacterias (BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA)	BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA	BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA	BAS, BFL, BSRL, BSRA	0,001	7,31	3	2454

Tabla 13. Resumen de resultados obtenidos de los lodos en estudio

Fuente: realizado por los autores

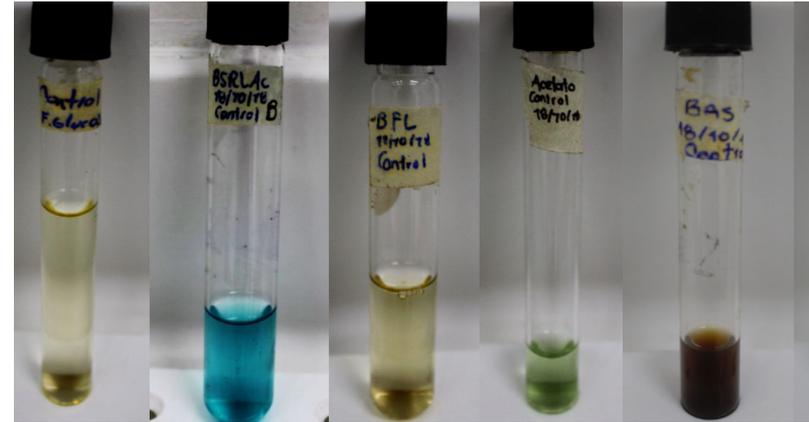


Gráfica 1: Poblaciones Bacterianas obtenidas por técnica de NMS para lodos de Laguna Busbanzá, Río Quenane, Farmacéutica y Quebrada Moncovita.

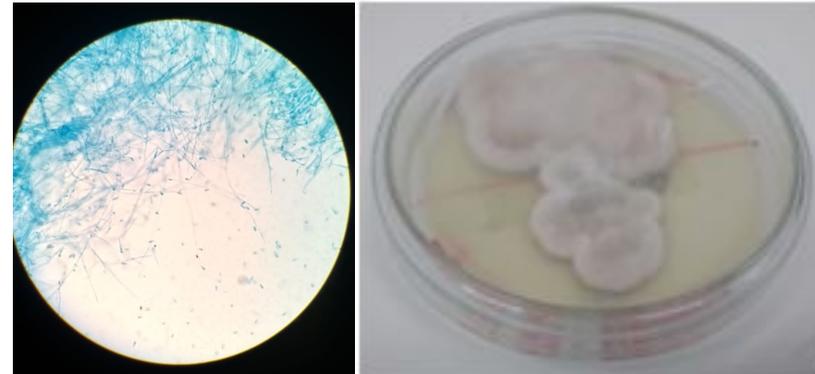
Fuente:Elaborado por los autores

Discusión / Microbiológico

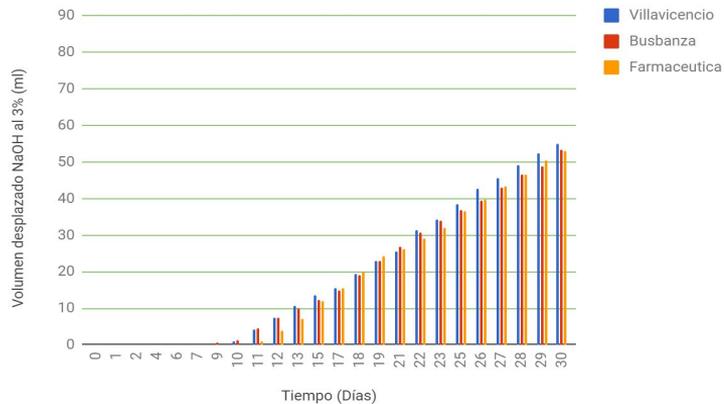
- Medios de cultivo específicos.^{1, 5, 16}
- Microorganismos mesófilos.^{52, 53, 54}
- Calidad de resultados.^{1, 2, 16, 95}
- Se encontraron microorganismos de las fases hidrolíticas, fermentativas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas.^{2, 6, 16}
- Asociación y adaptabilidad.^{51, 56, 57}
- Diversidad microbiana.^{52, 53, 78, 79}
- Candidatos para ser implementados como fuente de inóculo.^{16, 19, 78, 79}



Fuente:Elaborado por los autores



Fuente:Elaborado por los autores



Desplazamiento de NaOH al 3% Lodo de Farmaceutica. Sustrato Ácido acético



Desplazamiento de NaOH al 3% Lodo Laguna Busbanza. Sustrato Ácido acético

Pendiente para calculo de AME

$1,87*x + -10,4 R^2 = 0,923$



P= 0,98
F= 0,02
gl= 2
HSD= 13

Desplazamiento de NaOH al 3% Lodo Río Quenane Villavicencio. Sustrato Ácido acético

Pendiente para calculo de AME

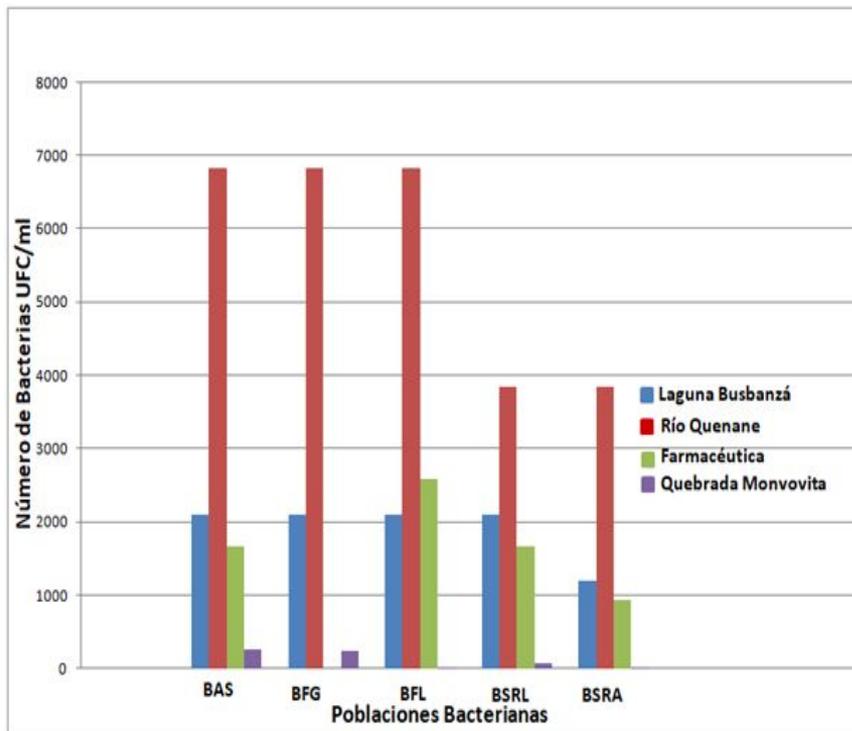
$2,06*x + -13,3 R^2 = 0,931$



Gráficas de desplazamiento de Hidróxido de sodio al 3% 2, 6,66, 69, 86, 87

Fuente: Realizadas por los autores

EASE 3. Determinación de Actividad metanogénica específica y relación con poblaciones microbianas identificadas



Actividad metanogénica (gDQO-CH ⁴ /gSSV/d)		0,2 a 1.9 ¹			ANOVA (95%)		
Desplazamiento de NaOH al 3%	Lodo laguna de Busbanzá	Lodo Río Quenane	Lodo Empresa Farmacéutica	P	F	gl	
		53,33 ml	55 ml	53 ml	0,98	0,02	2
AME (gDQO-CH ⁴ /gSSV/d)	2,073	0,146	0,012	-	-	-	

Poblaciones Bacterianas obtenidas por técnica de NMS para lodos de Laguna Busbanzá, Río Quenane, Farmacéutica y Quebrada Moncovita.

Fuente:Elaborado por los autores

Resultados obtenidos de los lodos en estudio de la AME obtenida ^{2, 6,66, 69, 86, 87}

Fuente: realizado por los autores

Característica fisicoquímica	Lodo Laguna de Busbanzá	Lodo río Quenane	Lodo empresa farmacéutica	ANOVA (95%) P <0,05 existen diferencias significativas entre tratamientos			Tukey (95%)
	Resultado			P	F	gl	HSD
Granulometría	0,98 µm	1,07 µm	0,697 µm	1,945	17,546	8	0,13
pH	5,08	5,20	7,2	-			-
SST en lodos en estudio	1.295.000 mg/l	1.181.333 mg/l	556.917	0,019	19,380	2	533509,51
SSV en lodos en estudio	376.665 mg/l	117.250 mg/l	481.250 mg/l	0,005	47,003	2	203870,8
Relación SSV/SST	0,209	0,099	0,864	-			-
DQO	384 mg/L DQO	215 mg/L DQO	351 mg/L DQO	-			-
Número de bacterias UFC/mL	2,1 x 10 ⁴	3,68 x 10 ³	1,66 x 10 ³	0,01	7,31	3	2454
Desplazamiento de NaOH al 3%	53,33 ml	55 ml	53 ml	0,98	0,02	2	13,00
AME	2,073 gr DQO-CH4 / gr SSV Día	0,146 gr DQO-CH4 / gr SSV Día	0,012 gr DQO-CH4 / gr SSV Día	-			-
Clases de bacterias (BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA)	BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA	BAS, BFG, BFL, BSRL, BSRA	BAS, BFL, BSRL, BSRA	0,001	7,31	3	2454

Tabla resumen de resultados obtenidos de los lodos en estudio 63, 83, 66, 69, 86, 87,90

Fuente: realizado por los autores

Conclusiones

El análisis fisicoquímico estableció que los lodos presentan un tamaño de gránulo de 0,98 μm , 1.07 μm y 0,697 μm ; **pH** de 5,08, 5,20 y 7,2; **SST** de 1.295.000 mg/L, 1.181.333 mg/L y 556.917 mg/L; **SSV** de 376.665, 117.250 y 481.250; Relación **SSV/SST** de 0,290, 0,099 y 0,864; **DQO** de 384 mg/L, 215 mg/L y 351 mg/L en los lodos de la laguna Busbanzá, río Quenane y Farmacéutica, respectivamente. Según el ANOVA (95%) realizado hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los lodos nativos y el control, para algunos parámetros.

El lodo de laguna Busbanzá posee la mayor actividad metanogénica específica (AME), 2,073 gr DQO-CH₄ / gr SSV Día, de los lodos en estudio de acuerdo a los resultados obtenidos, demostrando existencia de consorcios naturales colombianos con buena capacidad para convertir la materia orgánica en metano, cumpliendo con los intervalos de un lodo granular.

Se encontraron microorganismos correspondientes a todas las fases de la digestión anaerobia (BAS, BFG, BFL, BSRA, BSRL) en los lodos de estudio a excepción del lodo control quien no presentó poblaciones de BFG. Es importante resaltar las poblaciones encontrada en el lodo del río Quenane, puesto que presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los demás lodos en estudio según el ANOVA (95%) realizado.

La relación entre la Actividad Metanogénica Específica (AME) de los lodos muestreados del río Quenane Villavicencio y de la laguna, Busbanzá y las poblaciones microbianas presentes de todas las fases del proceso de digestión anaerobia permiten proponerlos como fuentes de inóculos para biorreactores utilizados en el tratamiento de aguas residuales industriales con alto contenido de materia orgánica.

Recomendaciones

- ★ Realizar técnicas moleculares para identificar los microorganismos identificados
- ★ Determinación de metano por medio de la cromatografía de gases.
- ★ Se recomienda realizar estudios de AME con diferentes sustratos, al igual de estudios de inhibición por sustancias químicas para poder así determinar la Concentración letal 50 de éstos frente a los lodos para ser implementados en el tratamiento de aguas residuales.

Participación a eventos



ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

La Red Colombiana de Semilleros de Investigación
Nodo Bogotá - Cundinamarca
otorga el certificado a:

David Felipe Salas Lozano
con cedula de ciudadanía 1.010.231.049
en calidad de: **Ponente**

por su participación en el XVII encuentro regional de semilleros de investigación, Nodo Bogotá - Cundinamarca, en la Universidad Jorge Tadeo Lozano durante los días 10 y 11 de Mayo del 2018.

German Eduardo Vargas Zapata
German Eduardo Vargas Zapata
Coordinador HuéCOLSI
Nodo Bogotá - Cundinamarca

Nora Milena Roncancio Parra
Nora Milena Roncancio Parra
Secretaría Nacional

16 años



2018

ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN CAMPUS SUBA

La Universitaria Agustiniiana y la Vicerrectoría de Investigaciones
certifican que:

Angie Alejandra Vargas Rivera
C.C. 1072714662

Participó en calidad de ponente en el I encuentro de semilleros de investigación Campus Suba 2018, que se llevó a cabo el 26 de octubre de 2018, en la UNAGUSTINIANA, con su ponencia:
Actividad metagenética de lodos procedentes de laguna Busbanza (Boyacá) y Río Quenane (Villavicencio, Meta)

Mauricio Rincón Moreno
MAURICIO RINCÓN MORENO
Director de Investigaciones

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES



2018

ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN CAMPUS SUBA

La Universitaria Agustiniiana y la Vicerrectoría de Investigaciones
certifican que:

David Felipe Salas Lozano
C.C. 1010231049

Participó en calidad de ponente en el I encuentro de semilleros de investigación Campus Suba 2018, que se llevó a cabo el 26 de octubre de 2018, en la UNAGUSTINIANA, con su ponencia:
Actividad metagenética de lodos procedentes de laguna Busbanza (Boyacá) y Río Quenane (Villavicencio, Meta)

Mauricio Rincón Moreno
MAURICIO RINCÓN MORENO
Director de Investigaciones

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES



2018

ENCUENTRO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN CAMPUS SUBA

La Universitaria Agustiniiana y la Vicerrectoría de Investigaciones
certifican que:

Bayron Steban Daza Martinez
C.C. 1015454749

Participó en calidad de ponente en el I encuentro de semilleros de investigación Campus Suba 2018, que se llevó a cabo el 26 de octubre de 2018, en la UNAGUSTINIANA, con su ponencia:
Actividad metagenética de lodos procedentes de laguna Busbanza (Boyacá) y Río Quenane (Villavicencio, Meta)

Mauricio Rincón Moreno
MAURICIO RINCÓN MORENO
Director de Investigaciones

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES

VIII ENCUENTRO INSTITUCIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO INSTITUCIONAL DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA

LA OFICINA DE INVESTIGACIONES
Hace constar que:

BAYRON STEBAN DAZA
Con documento: 1015454749

Participó en calidad de **PONENTE** el día 30 enero del año 2019, con una duración de 3 horas.

Claudia Consuelo González Ramirez
Claudia Consuelo González Ramirez
Jefa de Oficina

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES

XVII ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN



La Red Colombiana de Semilleros de Investigación
Nodo Bogotá - Cundinamarca
Otorga certificado a:

Angie Alejandra Vargas Rivera
Con cedula de ciudadanía 1.072.714.662
en calidad de: **Ponente**

Por su participación en el XVII Encuentro Regional de Semilleros de Investigación, Nodo - Bogotá - Cundinamarca, en la Fundación Universidad Autónoma de Colombia durante los días 8, 9 y 10 de mayo del 2019.

German Eduardo Vargas Zapata
German Eduardo Vargas Zapata
Coordinador HuéCOLSI
Nodo Bogotá - Cundinamarca

Carlos Baranosa
Carlos Baranosa
Eduardo Sánchez
Nodo Bogotá - Cundinamarca

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer profundamente a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, a la red Tecnoparque SENA, al semillero de investigación Bioprocesos y control, a nuestra asesora Judith Elena Camacho Kurmen, al laboratorio Central de la universidad y a nuestros seres queridos, puesto que sin su apoyo, paciencia, fe, esfuerzo, dedicación y guía no habiéramos podido llegar a donde estamos ahora, de todo corazón gracias!!!

Referencias

Bibliográficas

1. Díaz-Báez M, Espitia Vargas S, Molina Pérez F. Digestión anaerobia. Bogotá, D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2002.
2. Imachi, H., Sakai, S., Sekiguchi, Y., Hanada, S., Kamagata, Y., Ohashi, A. and Harada, H. (2008). *Methanolinea tarda* gen. nov., sp. nov., a methane-producing archaeon isolated from a methanogenic digester sludge. INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC AND EVOLUTIONARY MICROBIOLOGY. 2008;58(1):294-301.
3. Acuña González, P., Ángel García, L., Borray Montoya, E., Corrales Ramírez MSC, L. and Sánchez Leal MSC, L. Aislamiento e identificación de microorganismos del género *Methanococcus* y *Methanobacterium* de cuatro fuentes de Bogotá D.C. Nova.2008;6(10):156.
4. del Real Olvera, J. and Islas Gutiérrez, J. Biodegradación anaerobia de las aguas generadas en el despulpado del café. Revista Colombiana de Biotecnología. 2010;12(2):230-239.
5. Torres Lozada, P. and Pérez, A. ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECÍFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010; 9:5-14.
6. Gao, W., Leung, K., Qin, W. and Liao, B. Effects of temperature and temperature shock on the performance and microbial community structure of a submerged anaerobic membrane bioreactor. Bioresource Technology. 2011;102(19):8733-8740.
7. Huang, J., Liu, L., Shao, Y., Song, H., Wu, L. and Xiao, L. Study on Cultivation and Morphology of Granular Sludge in Improved Methanogenic UASB. Applied Mechanics and Materials.2012;209-211:1152-1157.
8. Méndez-Novelo, R., Chan-Gutiérrez, E., Castillo-Borges, E., Vázquez-Borges, E. and Espadas-Solís, A. Digestión anaerobia de efluentes de fosas sépticas. Ingeniería, investigación y tecnología. 2012;13(3):339-349.
9. Galvis Toro, J., Rivera Guerrero, X. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit en la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira.2013.
10. Martínez, A. Optimización de la producción de metano a partir de la cogestión anaerobia de residuos orgánicos. Universidad Nacional Autónoma De México.2013.

11. Feng, Y., Lin, X., Yu, Y., Zhang, H., Chu, H. and Zhu, J. Elevated ground-level O₃ negatively influences paddy methanogenic archaeal community. *Scientific Reports*.2013;3(1).
12. Bialek, K., Cysneiros, D. and O'Flaherty, V. Hydrolysis, acidification and methanogenesis during low-temperature anaerobic digestion of dilute dairy wastewater in an inverted fluidised bioreactor. *Applied Microbiología and Biotechnology*. 2014;98(20):8737-8750.
13. Ali Shah, F., Mahmood, Q., Maroof Shah, M., Pervez, A. and Ahmad Asad, S. Microbial Ecology of Anaerobic Digesters: The Key Players of Anaerobiosis. *The Scientific World Journal*. 2014:1-21.
14. Cesaro, A., Velten, S., Belgiorno, V. and Kuchta, K. Enhanced anaerobic digestion by ultrasonic pretreatment of organic residues for energy production. *Journal of Cleaner Production*. 2014;74:19-124.
15. Westerholm, M., Müller, B., Isaksson, S. and Schnürer, A. Trace element and temperature effects on microbial communities and links to biogas digester performance at high ammonia levels. *Biotechnology for Biofuels*. 2015;8(1).
16. Nikitina, A., Kevbrina, M., Kallistova, A., Nekrasova, V., Litti, Y. and Nozhevnikova, A. Intensification of microbial decomposition of organic fraction of municipal waste: Laboratory and field experiments. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2015;51(4):393-401.
17. Yu, H., Wang, Z., Wu, Z. and Zhu, C. Enhanced waste activated sludge digestion using a submerged anaerobic dynamic membrane bioreactor: performance, sludge characteristics and microbial community. *Scientific Reports*. 2016;6(1).
18. Wang, Q., Liang, Y., Zhao, P., Li, Q., Guo, S. and Chen, C. Potential and optimization of two-phase anaerobic digestion of oil refinery waste activated sludge and microbial community study. *Scientific Reports*. 2016;6(1).
19. Lin, Q., He, G., Rui, J., Fang, X., Tao, Y., Li, J. and Li, X. Microorganism-regulated mechanisms of temperature effects on the performance of anaerobic digestion. *Microbial Cell Factories*. 2016;15(1).
20. Hussain, A. and Dubey, S. Specific methanogenic activity test for anaerobic degradation of influents. *Applied Water Science*. 2015;7(2):535-542.

21. Gryta, A., Oszust, K., Brzezińska, M., Ziemiński, K., Bilińska-Wielgus, N. and Frąç, M. Methanogenic community composition in an organic waste mixture in an anaerobic bioreactor. *International Agrophysics*. 2017;31(3):327-338.
22. Gladchenko, M., Kovalev, D., Kovalev, A., Litt, Y. and Nozhevnikova, A. Methane production by anaerobic digestion of organic waste from vegetable processing facilities. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2017;53(2):242-249.
23. García-Mancha, N., Monsalvo, V., Puyol, D., Rodríguez, J. and Mohedano, A.. Enhanced anaerobic degradability of highly polluted pesticides-bearing wastewater under thermophilic conditions. *Journal of Hazardous Materials*. 2017;339:320-329.
24. Chen, Z., Xu, J., Hu, D., Cui, Y., Wu, P., Ge, H., Jia, F., Xiao, T., Li, X., Su, H., Wang, H. and Zhang, Y. Performance and kinetic model of degradation on treating pharmaceutical solvent wastewater at psychrophilic condition by a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology*. 2018;269:319-32.
25. Gonzalez, O *et. al.* Evaluación de la actividad metanogénica específica (AME) del sedimento de la Quebrada la Moncovita. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. 2012.
26. Tchobanoglous, G., Burton, F. and Stensel, H. *Wastewater engineering*. New York: McGraw-Hill. 2004.
27. Vasquez, J. Vargas, G. Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo. Universidad Católica de Colombia Facultad De Ingeniería. 2018
28. ASALE, R. *agua*. [online] «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. 2018. Available at: <https://dle.rae.es/?id=1BKpQj3> [Accessed 26 Sep. 2019].
29. Colombia-sa.com. *Hidrografía de Colombia*. [online]. 2019. Available at: <https://www.colombia-sa.com/geografia/geografia2.html> [Accessed 26 Sep. 2019].
30. Mapa de escasez de agua en el mundo. *El mapa de escasez de agua que amenaza a la mitad del mundo*. [online]. 2017. Available at: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/la-grafica/articulo/mapa-de-escasez-de-agua-en-el-mundo/243940> [Accessed 26 Sep. 2019].

31. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974.
32. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 2015.
33. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 3930 del 25 de octubre del 2010.
34. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 del 7 de marzo del 2015.
35. Foro Económico Mundial. *La economía del agua cada vez será más importante*. [online]. 2019. Available at: <https://es.weforum.org/agenda/2017/03/la-economia-del-agua-cada-vez-sera-mas-importante/> [Accessed 25 Sep. 2019].
36. Ideam.gov.co. *Autoridades Ambientales - IDEAM*. [online]. 2019. Available at: <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/autoridades> [Accessed 25 Sep. 2019].
37. Corrales, L., Antolinez Romero, D., Bohórquez Macías, J. and Corredor Vargas, A. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*. 2015;13(24):55.
38. Lorenzo Acosta, Y. and Obaya Abreu, M. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. 2005; XXXIX(1):35-48.
39. MANUAL DE BIOGÁS. [evos] Santiago de Chile: Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. 2011:11-62. Available at: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> [Accessed 8 May 2019].
40. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. 2010
41. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos(PNGIBSE).2011
42. Corrales, L., Antolinez Romero, D., Bohórquez Macías, J. and Corredor Vargas, A. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*. 2015;13(24):55-81.
43. Olguín Pérez, L. Rodríguez Magadán, H. Cromatografía de gases. Universidad Nacional Autónoma de México. 2004

44. Veiga Barbazán, M. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Inditex. FT-BIO-009. 2015.
45. Ramos Alvarriño, C. Los residuos en la industria farmacéutica. CENIC. 2006;37(1).
46. Tejada, C. Quiñónez, E. Peña, M. CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: METABOLITOS DE FÁRMACOS. UNA REVISIÓN. Facultad de Ciencias Básicas. 2014;10(1).
47. Velásquez Arias, J. Análisis de PPcPs (*pharmaceutical and personal care products*) en aguas residuales y suelos. RIAA. 2016;7(2).
48. Mora Collazos, A. and Bravo Montaña, E. Aislamiento de microorganismos electrogénicos con potencial para reducir cromo hexavalente. *Acta Biológica Colombiana*. 2017;22(1):27.
49. E. Zavaleta. Los ácidos volátiles, fuente de energía de los rumiantes. Departamento de Nutrición y Bioquímica. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. 2005.
50. Xiao, D., Peng, S. and Wang, E. Fermentation Enhancement of Methanogenic Archaea Consortia from an Illinois Basin Coalbed via DOL Emulsion Nutrition. *PLOS ONE*. 2015;10(4):e0124386.
51. Cheng, Y., Shi, Q., Sun, R., Liang, D., Li, Y., Li, Y., Jin, W. and Zhu, W. The biotechnological potential of anaerobic fungi on fiber degradation and methane production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2018;34(10).
52. Imachi, H., Aoi, K., Tasumi, E., Saito, Y., Yamanaka, Y., Saito, Y., Yamaguchi, T., Tomaru, H., Takeuchi, R., Morono, Y., Inagaki, F. and Takai, K. Cultivation of methanogenic community from subseafloor sediments using a continuous-flow bioreactor. *The ISME Journal*. 2011;5(12):1913-1925.
53. Kern, T., Rother, M. and Linge, M. (). *Methanobacterium aggregans* sp. nov., a hydrogenotrophic methanogenic archaeon isolated from an anaerobic digester. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2015;65(6):1975-1980.
54. Enzmann, F., Mayer, F., Rother, M. and Holtmann, D. Methanogens: biochemical background and biotechnological applications. *AMB Express*. 2018;8(1).

55. Wojcieszak, M., Pyzik, A., Poszytek, K., Krawczyk, P., Sobczak, A., Lipinski, L., Roubinek, O., Palige, J., Sklodowska, A. and Drewniak, L. Adaptation of Methanogenic Inocula to Anaerobic Digestion of Maize Silage. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8.
56. Dollhofer, Veronika & Podmirseg, Sabine & Callaghan, Tony & Griffith, G.W. & Fliegerová, Katerina. Anaerobic Fungi and Their Potential for Biogas Production. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*. 2015;151: 41-61.
57. Drake, H., Ivarsson, M., Bengtson, S., Heim, C., Siljeström, S., Whitehouse, M., Broman, C., Belivanova, V. and Åström, M. Anaerobic consortia of fungi and sulfate reducing bacteria in deep granite fractures. *Nature Communications*. 2017;8(1).
58. Mancera, M. Efectos de la tasa de la carga sobre la estabilidad de los lodos granulares. Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. 2011.
59. Parra, B. *et al.* Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal. *U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 2014;17(2):553-562
60. Yi J, Dong B, Jin J, Dai X. Effect of increasing total solids contents on anaerobic digestion of food waste under mesophilic conditions: performance and microbial characteristics analysis. *PLoS One*. 2014;9(7).
61. Kelly Orhorhoro, E. (). Experimental Determination of Effect of Total Solid (TS) and Volatile Solid (VS) on Biogas Yield. *American Journal of Modern Energy*. 2017;3(6):131.
62. Zhu, H., Parker, W., Conidi, D., Basnar, R. and Seto, P. Eliminating methanogenic activity in hydrogen reactor to improve biogas production in a two-stage anaerobic digestion process co-digesting municipal food waste and sewage sludge. *Bioresource Technology*. 2011;102(1):7086-7092.
63. Shi, X., Leong, K. and Ng, H. (). Anaerobic treatment of pharmaceutical wastewater: A critical review. *Bioresource Technology*. 2017;245:1238-1244.
64. Yang, Y., Yu, K., Xia, Y., Lau, F., Tang, D., Fung, W., Fang, H. and Zhang, T. Metagenomic analysis of sludge from full-scale anaerobic digesters operated in municipal wastewater treatment plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2014;98(12):5709-5718.

65. Wang, M., Sahu, A., Rusten, B. and Park, C. (). Anaerobic co-digestion of microalgae *Chlorella* sp. and waste activated sludge. *Bioresource Technology*. 2013;142:585-590.
66. Xu, K., Liu, H. and Chen, J. Effect of classic methanogenic inhibitors on the quantity and diversity of archaeal community and the reductive homoacetogenic activity during the process of anaerobic sludge digestion. *Bioresource Technology*. 2010;101(8):2600-2607.
67. Yenigün, O. and Demirel, B. Ammonia inhibition in anaerobic digestion: A review. *Process Biochemistry*. 2013;48(5-6):901-911.
68. Feng, Y., Zhang, Y., Quan, X. and Chen, S. Enhanced anaerobic digestion of waste activated sludge digestion by the addition of zero valent iron. *Water Research*, 2014;52:242-250.
69. Arenas I, Rojas G, G N. Efecto de un inhibidor sobre la producción de CO₂ y CH₄ de un cultivo microbiano proveniente de un pozo petrolero. ResearchGate. 2012.
70. Parra, B. *et al.* Efecto de la relación sustrato-inóculo sobre el potencial bioquímico de metano de biorresiduos de origen municipal. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 2015;16(4):515-526
71. Cajacuri, M. Rincón, N. Behling, E. Colina, G. Marín, J. Araujo, I. Diversidad microbiológica del lodo anaerobio durante el tratamiento de aguas de producción petroleras venezolanas. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 2013;14(3):325-334
72. Núñez, L. Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Automática y Optimización). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. 2017.
73. Chiva, S. Guillermo, J. Martínez, R. Climent, J. Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia. Universitat Jaume I. 2018.
74. Crombet, S. Abalos, A. Rodríguez, S. Pérez, N. Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria [Internet]. Colombo. Biotecnol. 2016;18(1):49-56
75. Sospedra, C. Estudios de optimización y diseño del proceso de digestión anaerobia para la EDAR de ALCOI. Universidad Politécnica de Valencia. 2017.

76. García N. Lodos residuales: estabilización y manejo 1st ed. Chetumal, México: Caos Conciencia. 2006.
77. Amorim, N., Amorim, E., Kato, M., Florencio, L. and Gavazza, S. The effect of methanogenesis inhibition, inoculum and substrate concentration on hydrogen and carboxylic acids production from cassava wastewater. *Biodegradation*. 2017;29(1):41-58.
78. Kurakov, A., Khidirov, K., Sadykova, V. and Zvyagintsev, D. Anaerobic growth ability and alcohol fermentation activity of microscopic fungi. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011;47(2):169-175.
79. Amorim, N., Amorim, E., Kato, M., Florencio, L. and Gavazza, S. The effect of methanogenesis inhibition, inoculum and substrate concentration on hydrogen and carboxylic acids production from cassava wastewater. *Biodegradation*. 2017;29(1):41-58.
80. Griffith, G., Callaghan, T., Podmirseg, S., Hohlweck, D., Edwards, J., Puniya, A. and Dagar, S. *Buwchfawromyces eastonii* gen. nov., sp. nov.: a new anaerobic fungus (Neocallimastigomycota) isolated from buffalo faeces. *MycKeys*. 2015;9:11-28.
81. Nakazawa, M., Florencio, L., Kato, M., Gavazza, S. and Sanz, J. Effects of the operational conditions on the production of 1,3-propanediol derived from glycerol in anaerobic granular sludge reactors. *Water Science and Technology*. 2016;75(4):963-970.
82. Emilson, E., Carson, M., Yakimovich, K., Osterholz, H., Dittmar, T., Gunn, J., Mykytczuk, N., Basiliko, N. and Tanentzap, A. Climate-driven shifts in sediment chemistry enhance methane production in northern lakes. *Nature Communications*. 2018;9(1).
83. Hao, L., Mazéas, L., Lü, F., Grossin-Debattista, J., He, P. and Bouchez, T. Effect of ammonia on methane production pathways and reaction rates in acetate-fed biogas processes. *Water Science and Technology*. 2017;75(8):1839-1848.
84. Munisamy, P., Ravichandran, M., Natarajan, S. and Varadhaaraju, C. BIOLOGICAL ASPECTS OF ANAEROBIC DIGESTION AND ITS KINETICS: AN OVERVIEW. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2017;6(4):1090-1097.
85. Zamanzadeh, M., Hagen, L., Svensson, K., Linjordet, R. and Horn, S. Biogas production from food waste via co-digestion and digestion- effects on performance and microbial ecology. *Scientific Reports*. 2017;7(1).

86. Candry, P., Van Daele, T., Denis, K., Amerlinck, Y., Andersen, S., Ganigué, R., Arends, J., Nopens, I. and Rabaey, K. A novel high-throughput method for kinetic characterisation of anaerobic bioproduction strains, applied to *Clostridium kluyveri*. *Scientific Reports*. 2018;8(1).
87. Candry, P., Van Daele, T., Denis, K., Amerlinck, Y., Andersen, S., Ganigué, R., Arends, J., Nopens, I. and Rabaey, K. A novel high-throughput method for kinetic characterisation of anaerobic bioproduction strains, applied to *Clostridium kluyveri*. *Scientific Reports*. 2018;8(1).
88. Gryta, A., Oszust, K., Brzezińska, M., Ziemiński, K., Bilińska-Wielgus, N. and Frąc, M. Methanogenic community composition in an organic waste mixture in an anaerobic bioreactor. *International Agrophysics*. 2017;31(3):327-338.
89. Carr, S., Schubotz, F., Dunbar, R., Mills, C., Dias, R., Summons, R. and Mandernack, K. Acetoclastic Methanosaeta are dominant methanogens in organic-rich Antarctic marine sediments. *The ISME Journal*. 2017;12(2):330-342.
90. Wenner, B., Wagner, B., Yu, Z., St. Pierre, N. and Firkins, J. 1613 Inhibition of methanogenesis by nitrate, with or without defaunation, in continuous culture. *Journal of Animal Science*. 2016;94(suppl_5):785-785
91. Hu, L., Long, Y. and Fang, C. Effect of Dissimilatory Iron Reduction on the Reduction of CH₄ Production in Landfill Conditions. *Journal of Chemistry*. 2019:1-10.
92. Crombet, S., Abalos, A., Rodriguez, S. Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2016;18(1):49-56.
93. Arhoun, B. DIGESTIÓN Y CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS, GANADEROS Y LODOS DE DEPURADORA. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Málaga. 2017.
94. GRUPO AGUA SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y CONTROL AMBIENTAL. DOCUMENTO IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE USUARIOS Y ESTADO DE LAS FUENTES HÍDRICAS PRIORIZADAS. CORMACARENA Y ECOPETROL S.A. 2018.
95. Información general de Busbanzá. Alcaldía del municipio de Busbanzá. 2015.
96. APHA. Manual de procedimientos analíticos para agua y efluentes, Ministerio de Vivienda. Dir Nac medio Ambient Montevideo, Uruguay. 1996
97. Tran, Toan. "Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition." Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017, 1545.