

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**



**POTENCIAL DE LA PULPA DE *Coffea arabica* L. PARA LA
PRODUCCIÓN DE METANO, BIOL Y BIOSOL A NIVEL DE
LABORATORIO – UNAS**

TESIS

Para optar al Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

OSMAR CÁCERES AZURIN

Tingo María - Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 047-2019-EPG-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 6:05pm, del día lunes 16 de diciembre del 2019, reunidos en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO ANAEROBICO DE LA PULPA DE CAFÉ (*Coffea arábica L.*) A NIVEL DE LABORATORIO"

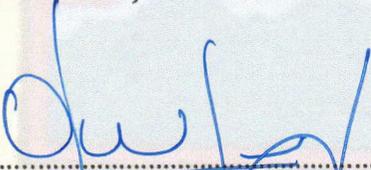
Así mismo el honorable jurado acuerda modificar el título de la tesis de la siguiente manera:

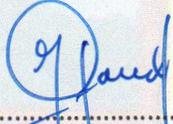
"POTENCIAL DE LA PULPA DE (*Coffea arábica L.*) PARA LA PRODUCCIÓN DE METANO, BIOL Y BIOSOL A NIVEL DE LABORATORIO - UNAS"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agroecología, mención: Gestión Ambiental, Ing. Osmar Cáceres Azurin.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 7:45pm. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.


.....
Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
Presidente del Jurado


.....
M.Sc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR
Miembro del Jurado


.....
M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVAN
Miembro del Jurado


.....
M.Sc. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
Asesor



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO
DE MAESTRO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la selva

Maestría : Ciencias en Agroecología

Mención : Gestión Ambiental

Título de la Tesis : **POTENCIAL DE LA PULPA DE
COFFEA ARABICA L. PARA LA
PRODUCCIÓN DE METANO, BIOL Y
BIOSOL A NIVEL DE LABORATORIO
– UNAS**

Autor : Osmar Cáceres Azurin

Asesor : Ing. Msc. Víctor Manuel Beteta Alvarado

Programa de Investigación : Sistemas de Gestión

Línea (s) de Investigación : Gestión Ambiental

Eje temático de Investigación : Gestión de Residuos Solidos

Lugar de ejecución :Tingo María

Duración : fecha de Inicio :Enero 2019
Fecha de Término : Agosto 2019

Financiamiento: :Propio S/. 7,953.55

DEDICATORIA

A DIOS; quien mediante la guía de su Espíritu iluminó mi camino durante el transcurso de mi formación profesional dándome inteligencia y sabiduría para alcanzar mis metas.

A mis padres Donato y Leonor por darme la vida y su apoyo incansable en el día a día de mi formación profesional y por el gran amor que me brindan.

A Osmar Andrés mi amado hijo por ser mi razón, motivo y fuerza a seguir en esta travesía del día a día de mi existir y por las alegrías y halagos que me brinda.

A mis queridos hermanos Nigdan, Mirian, Sharmely, Noraly y Jamil por su apoyo moral y todo su cariño.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables –Ingeniería Ambiental y plana docente.

Al Msc. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por su amistad, apoyo, confianza durante mi formación profesional y colaboración en el presente trabajo.

A Amelia Almiron Arteaga, por su motivación y apoyo a la conclusión del presente trabajo.

A los colegas y amigos de la Maestría que compartieron gratos momentos de conocimiento en las aulas Universitarias.

A la plana Docente de la Maestría, dispuesta a impartir los conocimientos acumulados.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
	1.1. Objetivo general	1
	1.2. Objetivo específico	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1. <i>Coffea arabica</i> L	3
	2.2. Producción nacional de <i>Coffea arabica</i> L.....	3
	2.3. Residuos generados en la industria del café.....	4
	2.4. Efectos y usos de la pulpa de <i>Coffea arabica</i> L.	5
	2.5. Composición de la pulpa de <i>Coffea arabica</i> L.....	6
	2.6. Biogás	7
	2.7. Digestión anaerobia	8
	2.7.1. Hidrólisis.....	8
	2.7.2. Acidogénesis.....	9
	2.7.3. Acetogénesis.....	9
	2.7.4. Metanogénesis	9
	2.8. Actividad metanogénica específica (AME)	10
	2.9. Potencial bioquímico de metano (PBM)	11
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
	3.1. Ubicación	12
	3.1.1. Ubicación política	12
	3.1.2. Ubicación geográfica	12
	3.2. Factores ambientales	12
	3.3. Aspectos socio económicos y culturales.....	13
	3.4. Materiales.....	14
	3.4.1. Materiales de oficina.....	14

3.4.2. Materiales de laboratorio	14
3.4.3. Material biológico.....	14
3.4.4. Reactivos.....	14
3.4.5. Equipos.....	14
3.5. Variables	15
3.5.1. Variable independiente.....	15
3.5.2. Variable dependiente.....	15
3.5.3. Variable interviniente	16
3.6. Nivel de investigación.....	16
3.7. Diseño y esquema de investigación.....	16
3.8. Diseño estadístico	17
3.9. Fase de campo.....	18
3.9.1. Preparación de inóculo.....	18
3.9.2. Colecta de pulpa de <i>Coffea arabica</i> L.	18
3.10. Fase de laboratorio	19
3.10.1. Montaje experimental	19
3.10.2. Determinación de la estabilidad degradativa de la pulpa de <i>Coffea arabica</i> L.....	20
3.10.3. Determinación de los niveles de eficiencia	20
3.10.4. Evaluación de la producción de biogás y biometano.....	21
3.10.5. Evaluación del efecto fitotóxico del biol	21
3.10.6. Evaluación del efecto fitotóxico del biosol	22
IV. RESULTADOS	25
4.1. Tiempo de estabilidad degradativa anaerobia.....	25
4.2. Eficiencia de degradación anaerobia	26
4.3. Potencial de generación de metano y biogás.....	29
4.3.1. Testigo.....	29

4.3.2. Tratamiento 1	30
4.3.3. Tratamiento 2	31
4.3.4. Tratamiento 3	32
4.4. Efecto fitotóxico	35
4.4.1. Porcentaje de germinación relativa (Pgr).....	35
4.4.2. Crecimiento radicular relativo (Crr)	37
4.4.3. Índice de germinación (Ig)	37
4.5. Análisis estadístico.....	39
4.5.1. Pruebas de normalidad de shapiro-wilk.....	39
4.5.2. Verificación de varianza.....	39
4.5.3. Prueba de kruskal-wallis para pérdida de biomasa	40
4.5.4. Análisis de Varianza para pérdida de biomasa.....	40
4.5.5. Pruebas de múltiples rangos de tukey.....	41
V. DISCUSIÓN.....	42
5.1. Tiempo de estabilidad degradativa anaerobia.....	42
5.2. Eficiencia de degradación anaerobia	42
5.3. Potencial de generación de metano y biogás.....	43
5.4. Efecto fitotóxico	44
VI. CONCLUSIONES	46
VII. RECOMENDACIONES.....	47
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	48
ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
1. Composición química (%) de la pulpa de <i>Coffea arabica L</i> ensilada a 0;90;120 y 240 días.....	7
2. Descripción de las observaciones en estudio.....	17
3. Análisis de Variancia (ANVA).....	18
4. Porcentaje de degradación respecto a los pesos de los tres tratamientos.....	27
5. Generación de biogás y biometano del inoculo.....	29
6. Generación de biogás y biometano para en tratamiento 1.....	30
7. Generación de biogás y biometano para el tratamiento 2.....	31
8. Generación de biogás y biometano para el tratamiento 3.....	32
9. Porcentaje de germinación, crecimiento radicular relativo e índice de germinación del biol y el biosol	36
10. pruebas de normalidad de Shapiro – Wilk	39
11. Verificación de la varianza	40
12. Prueba de Kruskal-Wallis	40
13. Análisis de varianza	41
14. Comparación de la significancia según prueba de Tukey	41
15. Prueba de Tukey	41
16. Característica de pulpa e inoculo	56
17. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores testigo, solo con inoculo	56
18. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 1	56
19. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 2	56
20. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 3	57
21. Generación de biogás del testigo	57
22. Generación de biometano testigo	57
23. Generación de biogás del T1	58
24. Generación de biometano T1	58

25.	Generación de biogás del T2	58
26.	Generación de biometano T2	59
27.	Generación de biogás del T3	59
28.	Generación de biometano T3	59
29.	Toxicidad en la germinación	60
30.	Análisis de la toxicidad en la biomasa	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Estructura de diseño.....	17
2. Sistema para el cálculo de la generación de biogás y metano	20
3. Tiempo de estabilidad del biogás y biometano en el testigo y los tres tratamientos.....	25
4. Tiempo de producción de biogás y biometano para los tratamientos y el testigo.....	26
5. Degradación en función al peso fresco	27
6. Degradación den función al peso seco	28
7. Degradación en función al volumen fresco	29
8. Potencial de generación de biometano	30
9. Potencial de generación de biometano para T1	31
10. Potencial de generación de biometano para T2	32
11. Potencial de generación de biometano para T3	33
12. Composición volumétrica de los gases por tratamiento	34
13. Composición porcentual de los gases por tratamiento	34
14. Variación en el potencial bioquímico de metano por tratamiento	35
15. Efecto del biol y biosol en la germinación	36
16. Efectos del biol y biosol en desarrollo radicular	37
17. Efectos del biol y biosol en el índice de germinación	38
18. Efecto del biol y biosol en la biomasa germinada	38
19. Compatibilidad del Proceso para perdida de biomasa	39
20. Pulpa de café para biodegradar	61
21. Acondicionamiento de la pulpa de café	61
22. Acondicionamiento de inoculo	62
23. Acondicionamiento de reactores	62
24. Medida de la generación de biogás y biometano	63
25. Separación del biol y biosol	63
26. Secado de biosol.....	64
27. Acondicionamiento del test de germinación en placas	64
28. Aplicación de concentrados de biol y biosol a las placas	65
29. Germinación de plántulas en el test de germinación en placas	65

RESUMEN

La producción de café en el Perú ha incrementado en los últimos años, por lo que el volumen de sus residuos está generando contaminación del suelo y cuerpos de agua, debido al alto contenido de colorantes naturales y pH ácido que se genera producto de su descomposición, lo que lleva a que usualmente sean abandonados en las áreas de cultivo sin tratamiento alguno, es por ello que esta investigación tiene como propósito establecer el potencial de reutilización de la pulpa de café, por lo que se implementó un sistema de degradación anaerobia, para determinar el potencial bioquímico de metano a diferentes dosificaciones de pulpa de café.

Así mismo se evaluó el tiempo de degradación, el volumen de biogás y biometano generado, para luego determinar la eficiencia degradativa en función al peso en fresco y peso en seco, obteniéndose así el biol y biosol, producto de la degradación anaerobia, para posteriormente determinar su potencial de uso como biofertilizante mediante la aplicación de un test toxicológico germinativo en placas.

Obteniéndose finalmente que la aplicación de pulpa de café a concentración menor del 30% puede degradar el 63% de la masa seca de la pulpa de café y de esta llegar a producir metano con un 90% de pureza.

ABSTRAC

The coffee production in Peru has increased in recent years, due to which, the volume of its waste is generating contamination in the soil and bodies of water, caused by the high content of natural colorants and acidic pH, which are generated as a product of its decomposition, leading to them normally being abandoned in farming areas without any treatment, due to this, this research has the purpose of establishing the potential of reutilizing the coffee pulp, for which an anaerobic degradation system was implemented in order to determine the biochemical potential of the methane at different doses of the coffee pulp.

At the same time, the degradation time, volume of the biogas and generated biomethane were evaluated in order to later determine the efficiency of degradation as a function of the fresh weight and dry weight, thus obtaining the biol and biosol, products of the anaerobic degradation, in order to later determine the potential for use as a biofertilizer through the application of a germinative toxicological test on test plates.

Finally obtaining that the application of the coffee pulp at a concentration less than 30% can degrade 63% of the dry mass from coffee pulp and from this, reach a methane product with 90% purity.

I. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la producción agrícola por parte de la industria genera muchos residuos de distinta naturaleza y a diferentes escalas de producción, siendo los residuos de procesamiento de la materia prima uno de los que es difícil de notar debido a que sucede a cientos de kilómetros del consumidor final, y que generalmente se desperdician en los campos de cultivo sin generar un valor agregado. Tal es el caso de la producción de *Coffea arabica L.* que se ha incrementado en el Perú. Lo que conlleva al desarrollo de una cadena productiva muy importante, que genera una diversidad de desechos desde su cosecha, procesamiento, hasta su distribución, uso y disposición de sus residuos, en este sentido la presente investigación, estudió el potencial y puesta en valor de los residuos de la pulpa de *Coffea arabica L.* que se desecha directamente en los campos de cultivo. Sin darle un aprovechamiento directo, generando malos olores, propagación de insectos y son focos infecciosos que podrían favorecer la proliferación de enfermedades.

Por tanto, el propósito del presente trabajo fue generar una tecnología de reaprovechamiento de la pulpa de *Coffea arabica L.* alternativa a las clásicas técnicas de compostaje, planteándose la siguiente interrogante: ¿Cuál es el potencial de la pulpa de *Coffea arabica L.* para el aprovechamiento de metano, biol y biosol a nivel de laboratorio – UNAS? Por lo que se ha esbozado la siguiente hipótesis H_1 que el aprovechamiento anaerobio de la pulpa de *Coffea arabica L.* será superior al 80%.

1.1. Objetivo general

Determinar el potencial de la pulpa de *Coffea arabica L.* para el aprovechamiento de metano, biol y biosol a nivel de laboratorio – UNAS

1.2. Objetivo específico

- Determinar el tiempo adecuado para la estabilidad degradativa anaerobia de la pulpa de *Coffea arabica L.*
- Determinar la eficiencia de degradación anaerobia de la pulpa de *Coffea arabica L.*
- Determinar el potencial de generación de metano y biogás.
- Precisar el efecto fitotóxico de la aplicación del biol y biosol de la pulpa de *Coffea arabica L.*

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Coffea arabica* L

El cultivo de *Coffea arabica* L. es originario del norte de África y es instalado con el objetivo de producir un grano aromático, cuyo contenido abundante de sustancias y estimulantes permite elaborar una infusión de alta calidad en taza y sobremesa AMAYA *et al.* (1998). El proceso del fruto puede realizarse de diferentes maneras, una de ellas es la vía húmeda que implica el despulpado, desmucilado utilizando abundante agua y secado del pergamino, finalmente la eliminación de las cascarillas por el trillado. La siguiente vía, incluye la fermentación de todo el fruto, el secado y la eliminación de la cascarilla en una única operación de trillado BRAHAM y BRESSANI (1978). La primera vía es la más manejada, el procesamiento de 100 kg de frutos de *Coffea arabica* L maduros generan 20% de *Coffea arabica* L trillado (oro) y el 80% restante está formado por subproductos, como pulpa fresca (40%), mucílago (20%), agua (17%) y pergamino y película plateada (3%) AMAYA *et al.* (1988).

2.2. Producción nacional de *Coffea arabica* L.

La productividad de café a nivel nacional ha mostrado comportamientos inestables a mediano plazo, el mismo que a partir del 2012 ha sido afectada por la enfermedad de la roya amarilla los que son por consecuencias del cambio climático, los que han venido destruyendo alrededor de 94 mil hectáreas de cafetales (causadas por el hongo *Hemileia vastatrix*). La merma también se debe a un descuido en la fertilización de las parcelas de café en campañas anteriores y la antigüedad de la mayoría de estos los que debilitaron la producción que declina sensiblemente entre el 2013 y 2014, sin embargo durante el periodo enero- junio 2019 se logró producir 267.8 mil

toneladas, 1.2% menor al registrado en el mismo periodo del 2018 271 mil toneladas ROMERO (2019).

2.3. Residuos generados en la industria del café

Según RODRÍGUEZ y ZAMBRANO (2010), el residuo sobrante del descerezado del café tiene una variedad de usos para la industria y en la agricultura, ya que sus propiedades físicas y químicas la hacen una importante materia prima. Dichos residuos son empleados para la producción de compost, fertilizante, alimento para animales, lombricultivo, generación de bioetanol y biogás, en la industria de bebidas y dulces.

Del procesamiento del fruto del café el primer producto que se obtiene es la pulpa, el que representa un 43.58% del peso en base húmedo. El resto del grano es consumido por la industria del café, en el que está incorporado la almendra o semilla del que se saca el producto que consume la humanidad, entre los que se tienen las bebidas, los productos secundarios son desechados en gran mayoría contaminando las aguas, suelo y aire RODRÍGUEZ y ZAMBRANO (2010).

En el procesamiento del café la pulpa y la cascarilla son residuos que quedan sin uso; sin embargo, en países centroamericanos son procesados de tal manera que pasan por mecanismos como el triturado, deshidratado, pulverizado, comprimido y enfriado los que son amoldados en formas de cilindro que varían de 25 a 60 mm de longitud y de 6 a 20 mm de diámetro los que están remplazando la leña y el carbón, actualmente se utiliza para la generación de energía eléctrica GIRÓN (2008).

“En Cuba según estudios del Centro de Investigaciones del Café, la pulpa deshidratada se comporta como buen combustible, capaz de proveer hasta 4200 Kcal/Kg” CASTILLO, CARBALLO y PÉREZ (2008), “pero de la quema directa o en briquetas resulta una energía térmica con muy bajo contenido

calórico, además de que desprende contaminantes gaseosos como dióxido y monóxido de carbono, nitratos y sulfatos. A su vez, la gasificación permite obtener un gas de baja producción calórica pero poco contaminante, lo que hace que sea útil para la obtención de energía térmica y eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas” LONDOÑO (2017).

“El mucílago de café, que es el líquido que recubre la semilla y la protege para que esté en óptimo desarrollo, equivale al 20% del grano y es otro coproducto que resulta de su procesamiento, también es altamente contaminante” LONDOÑO (2017). Zambrano, citado por RODRÍGUEZ y ZAMBRANO (2010) afirma que, “el mucílago de café en base húmeda representa alrededor del 14.85% del peso del fruto fresco y podría ocasionar en Colombia una contaminación equivalente a la generada en un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes. También reporta que se pueden obtener 336 L de metano por 1 kg de DQO removido y puesto que el metano tiene un poder calorífico de 35.78 KJ/L, se puede estimar que la energía contenida en el biogás generado a partir de la descomposición de 1 Kg de mucílago fresco es del orden de 2 MJ”.

PALACIO (2007), reporta que “un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 Kcal y que un L de gasolina tiene aproximadamente 10.000 Kcal, lo que indica que por cada tres kilogramos que se desperdicia de biomasa se desaprovecha el equivalente a un L de gasolina”.

2.4. Efectos y usos de la pulpa de *Coffea arabica* L.

La pulpa de *Coffea arabica* L. al ser vertida al ambiente puede causar contaminación. por esta situación se han elaborado varios estudios para el reaprovechamiento y disminución de los efectos tóxico en el ambiente RAMÍREZ (1998). “Una de las formas de reutilización es el ensilaje los que se han destinado a la nutrición animal, como torta de pulpa de *Coffea arabica* L. jugo tratado con

microorganismos para el consumo animal” FERRER *et al.* (1995); RAMÍREZ *et al.* (1997); RAMÍREZ (1998); RAMOS *et al.* (2000).

“El ensilaje es el proceso utilizado para preservar y almacenar la pulpa de *Coffea arabica L.* mientras se le da un uso posterior” FERRER *et al.* (1995). “Con el ensilaje se logra reducir a niveles adecuados sustancias anti nutricionales, como cafeína, ácido clorogénico y derivados de taninos” MAYORGA (2005). “La composición química de la pulpa de *Coffea arabica L.* ensilada reveló valores de materia seca (92%), extracto etéreo (2.6%), fibra cruda (20.8%), proteína cruda (10.7%), ceniza (8.8%), extracto libre de nitrógeno (49.2%) y taninos (1.8%)” BRAHAM y BRESSANI (1978).

2.5. Composición de la pulpa de *Coffea arabica L.*

“Algunos estudios elaborados en relación a las características químicas y al valor alimenticio de la pulpa de *Coffea arabica L.* ensilada han indicado su uso potencial en la alimentación animal, en vacas lecheras puede ser suministrada hasta 20% de pulpa, mientras que en novillos de 20% a 30%” BRAHAM y BRESSANI (1978). “En ovinos su uso puede ser hasta 15% sin afectar su crecimiento” FERREIRA *et al.*, (2000); FERREIRA *et al.*, (2003). “En peces como tilapia del Nilo, se logró aumento de peso con 30% de mezcla con pulpa de *Coffea arabica L.* en el híbrido Cachamay se encontró mejor tasa de crecimiento en peso y longitud con dietas de 18% de pulpa” BAUTISTA *et al.* (1999^a) y BAUTISTA *et al.* (2005), “siendo que en alevines de tilapia roja se encontró mejor comportamiento con 10 y 20% de pulpa de *Coffea arabica L.*” CASTILLO *et al.* (2002). “Otros trabajos se han realizado en aves, en conejos” BAUTISTA *et al.*, (1999^b) y en cerdos BAUTISTA *et al.* (1999^c).

Cuadro 1. Composición química (%) de la pulpa de *Coffea arabica L.* ensilada a 0;90;120 y 240 días.

Componente	Tiempo en días				Promedio
	0	90	120	240	
Materia seca	87.30	95.53	86.16	88.10	89.27
Ceniza	9.2	12.46	22.12	23.80	16.87
Materia orgánica	90.88	87.53	77.91	76.93	83.31
Extracto etéreo	3.86	3.27	3.24	3.02	3.34
Proteína cruda	3.87	25.18	30.52	25.82	29.42
Extracto libre de N	60.29	26.55	8.24	10.93	26.50
Taninos	0.06	0.23	0.30	0.34	0.23

Letras distintas en la misma fila indica diferencia estadísticamente significativa entre medias ($P < 0,05$). Fuente: (NORIEGA *et al.*, 2009).

2.6. Biogás

“Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en un ambiente anaeróbico. Está compuesto fundamentalmente por metano ($\text{CH}_4(\text{g})$) (55-70) %, dióxido de carbono ($\text{CO}_2(\text{g})$) (30-45) % y sulfuro de hidrógeno ($\text{H}_2\text{S}(\text{g})$) (1-3) %, entre otros” ORTEGA *et al.* (2015).

“La concentración de los diferentes gases en el biogás, depende de la composición de las materias primas, las condiciones de descomposición, tiempo de retención hidráulica en el biodigestor, entre otros” (VARNERO *et al.* 2012). “Todas las relaciones porcentuales referidas a la composición del biogás y a los límites máximos permisibles a los que se hacen referencia en el trabajo son expresados en función volumétrica” ORTEGA *et al.* (2015).

De todos los gases, el $\text{CH}_4(\text{g})$ resulta el más interesante económicamente hablando, debido a la utilidad como generador de energía calorífica MORERO y CAMPANELLA (2013). El $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ es un gas enormemente tóxico e irritante, causando múltiples afecciones a los seres humanos, como inconciencia, conjuntivitis, dolor de cabeza, deficiencia respiratoria, alteraciones

en electrocardiograma, en el sistema nervioso central, entre otros, El $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ es el compuesto que le da el olor particular a huevo podrido a estos gases, es incoloro, inflamable y altamente peligroso VÍQUEZ (2010).

“Si el biogás es utilizado para equipos tales como: generadores eléctricos, microturbinas y otros, el $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ puede causar daños internos. En el caso de los generadores eléctricos, la presencia del $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ disminuye la vida útil de todos los equipos que intervienen en la producción, transferencia y suministro de energía eléctrica” VARNERO *et al.* (2012).

“La emisión de compuestos de azufre, como el $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ es responsable de daños importantes a la vegetación cercana a la fuente de vertimiento y, además, contribuye a la llamada lluvia ácida” HORIKAWA (2004). El $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ “presenta severos efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, marinos y terrestres, influyendo en la magnitud de las afectaciones, la concentración, tiempo y frecuencia de exposición” ORTEGA *et al.* (2015).

2.7. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un conjunto de múltiples conversiones bioquímicas de material orgánico biodegradable a biogás, los que son realizados por una población variada de bacterias en un medio netamente anaerobio. SOTO (1993) diferencia cuatro fases en la digestión anaerobia de acuerdo a los productos que se generan y su conjunto de bacterias que los caracterizan. La celeridad de cada etapa es diferente, por lo que la velocidad global de la digestión anaerobia está controlada por la etapa más pausada MONGE (2013).

2.7.1. Hidrólisis

“La hidrólisis se realiza extracelularmente, por medio de exoenzimas hidrolíticas excretados por las bacterias fermentativas que solubilizan la materia

orgánica, dado que las bacterias no pueden absorber polímeros orgánicos complejos directamente en sus células” BOE (2006). “Para la biomasa, esta es la etapa limitante de la velocidad en la digestión anaeróbica” BOONE (1993).

2.7.2. Acidogénesis

Los microorganismos fermentativos convierten las moléculas orgánicas obtenidas de la hidrólisis en ácidos grasos volátiles (AGV) de cadena corta (ácidos fórmicos, acético, propiónico, butírico y cantidades más pequeñas y ácidos valérico e isovalérico) CHERNICHARO (2007); ZHOU (2007).

2.7.3. Acetogénesis

Los AGV de 3 a 8 átomos de carbono y el etanol son convertidos a acetato, CO₂ e hidrógeno por las bacterias acetogénicas y microorganismos metanogénicos que asimilan hidrógeno del medio en forma sintrófica DEMIREL (2008).

2.7.4. Metanogénesis

“Esta fase se diferencia por dos grandes grupos de metanógenos que definen las rutas paralelas para la obtención del metano: metanógenos acetoclásticos cuyo sustrato es el acetato y metanógenos hidrogenotróficos, cuyo sustrato es el hidrógeno y el dióxido de carbono” ZIEMINSKI (2012). Las diferentes reacciones enlazadas con el consumo de acetato e hidrógeno, en el que el acetato es el antecesor de hasta un 70% de la formación total de CH₄ DEMIREL (2008).

“De acuerdo con la energía libre de Gibbs, a temperaturas normales, el consumo de hidrógeno por metanogénesis hidrogenotrófica es más favorable que la homoacetogenesis, mientras que la asimilación de acetato por

metanogénesis acetoclástica es más favorable que la oxidación del acetato. igualmente, si las concentraciones de acetato son elevadas, la metanogénesis acetoclástica es mayormente favorable que la oxidación del acetato” SCHINKS, citado por BOE (2006).

2.8. Actividad metanogénica específica (AME)

“La AME permite cuantificar la capacidad de desdoblar que tienen las bacterias metanogénicas de un sustrato definido. Así, a partir de cantidades conocidas de biomasa (sólidos volátiles totales), bajo condiciones establecidas, se puede evaluar la producción de CH₄ a lo largo de un período de incubación” TORRES (2002). “Es una herramienta que además evalúa el comportamiento de dicha biomasa y la carga orgánica máxima que puede aplicarse a un sistema sin causar su desestabilización, tanto bajo condiciones ideales o potencialmente inhibitoras y tóxicas” AQUINO (2007).

“La AME se expresa generalmente en gramos de DQO por gramos de sólidos volátiles por día (gDQOCH₄/gSV.d) y se calcula según la ecuación siguiente” CIMOCHOWICZ-RYBICKA (2013):

$$AME = \frac{24}{SV \times V_R \times f_1} \times \frac{d(V_{CH_4})}{dt} \left(\frac{gDQO}{gSV} \right)$$

Donde:

- SV** = Masa de los sólidos volátiles en la muestra por litro de agua en el reactor (g/l)
- VR** = Volumen líquido efectivo en el reactor (l)
- f1** = Factor de conversión para gramos de DQO removida por unidad de volumen de metano (ml CH₄/g DQO)
- d (VCH₄)/dt** = Tasa máxima de producción de metano (ml CH₄/d)

La mayor tasa de producción de metano se consigue a partir de la pendiente máxima de la curva de obtención del gas durante el tiempo de incubación de la muestra y que corresponde al consumo mínimo del 50 % del sustrato adicionado AQUINO *et al.* (2007). El factor de transformación hace referencia a la oxidación estequiométrica de metano que permite determinar la equivalencia de 0,35 L CH₄ por gramo de DQO removida.

2.9. Potencial bioquímico de metano (PBM)

“El PBM, como AME, mide la digestibilidad anaerobia de un sustrato reportada como L CH₄/gSV. día; sin embargo, el procedimiento para los datos recolectados es diferente si no se considera una tasa elevada de producción de CH₄ sino el grupo de los controles rescatados durante la incubación del sustrato a través del modelo cinético de primer orden que se refiere a continuación” CHYNOWETH (1993). Dicho modelo se basa en el modelo cinético de Monod (1950) que toma la tasa de crecimiento de una colonia de microorganismos perturbada por un sustrato limitante que se acaba por efecto de saturación. Los efectos de saturación se desprecian y la tasa de crecimiento bacteriana es proporcional a la formación del producto final, CH₄ MOODY (2009); BORJA (1992).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Calidad del Aire, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, políticamente se encuentra ubicado en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente el laboratorio de Calidad del Aire se encuentra en las coordenadas UTM (E: 390662,5 m. y N: 8970151,4 m.); a una altitud de 668 m.s.n.m. hoja 19-k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, correspondiente a la Región Selva, a la cual se accede por vía terrestre, carretera de Lima a Tingo María y vía aérea desde Lima hasta la ciudad de Tingo María.

3.2. Factores ambientales

“Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático, Tingo María se encuentra en la formación vegetal bosque muy húmedo Premontano Tropical bmh-PT y de acuerdo a las regiones naturales del Perú corresponde a la Selva Alta” HOLDRIDGE (1995).

Hidrográficamente se encuentra en la cuenca del río Huallaga; de clima variable, con precipitación promedio anual de 3179 mm, en épocas de invierno los que pueden alcanzar hasta los 3860 mm. de clima cálido-húmedo-lluvioso, con abundante precipitación pluvial en los meses de noviembre a marzo.

El promedio de humedad relativa es de 85.67% y su variación está de acuerdo al ciclo de las precipitaciones pluviales, por lo que en las épocas de mayor precipitación se registra una elevada humedad. Presenta una temperatura promedio de 24.31 °C, una T° máxima de 25.70 °C y el promedio mínimo es de 19.5 °C, entre los meses de mayo a Setiembre, durante el mes de junio se registra un descenso debido a los vientos fríos del anticiclón polar marítimo.

3.3. Aspectos socio económicos y culturales

La agricultura es la actividad de mayor relevancia económica de la provincia de Leoncio Prado, el que representa el 65.72% de la PEA, el que está considerado como agricultura de subsistencia, de bajo nivel tecnológico, rendimiento y un casi nulo sistema de información. El comercio muestra niveles importantes en los distritos de Rupa Rupa el que está representado del 24.30% de la PEA y en el distrito de José Crespo y Castillo, donde esta actividad representa 40% de la PEA. De escaso sector manufacturero el que alcanza el 5% de la oferta laboral. Con limitaciones de infraestructura para la explotación del sector turístico a pesar de las diversas bondades que presenta por lo que se encuentra limitado. “La actividad comercial de la provincia en las zonas principalmente urbanas por lo que el distrito de Rupa Rupa concentra casi toda la actividad comercial de la provincia, constituyéndose Tingo María como el eje comercial principal del Alto Huallaga, seguido por el Distrito de José Crespo y Castillo, debido a que en ella también se realizan las principales actividades político-administrativas, económico-financieras y de prestación de servicios. La actividad turística en la provincia es de larga data, debido a su gran belleza natural, actividad que en la década del 70 tuvo su auge, sobre todo de turismo receptivo, pero durante el apogeo del narcotráfico y la subversión, decreció notablemente” (MPLP, 2018).

3.4. Materiales

3.4.1. Materiales de oficina

Formatos de registro de datos, tablero, cuaderno, folder manila, lapiceros, papel bond A4, plumones marcadores

3.4.2. Materiales de laboratorio

Frasco GL45 de 1L, tapas GL45 con 02 orificios, mangueras de silicona de 0.6 mm, llaves de paso de 0.6 mm, válvula antirretorno de 0.6 mm, vasos de precipitados de 1 L, vaso de precipitado de 0.5 L, vaso de precipitado de 250 mL, embolo de 250 mL, llave de triple paso, filtro vial de 6 mm para cromatografía, probeta de 250 mL, probeta de 500 mL, pizeta de 500mL.

3.4.3. Material biológico

Muestra de pulpa de *Coffea arabica L.*

3.4.4. Reactivos

Ácido clorhídrico 0.1 N, Anaranjado de metilo, Hidróxido de sodio, Agua desionizada, Bicarbonato de sodio, Thymolphthaleina, ortofosfato de potasio di hidrogeno anhidro (KH_2PO_4) y ortofosfato de potasio hidrogeno (dibásico) anhidro (K_2HPO_4).

3.4.5. Equipos

- **Baño maría:** marca Thermo Lab de capacidad de 20L con sistema termostático digital, la cual desempeñara la función de termostático para los frascos de digestión anaerobia.

- **Balanza gramera:** Marca OHAUS modelo Traveler TA302 con precisión de 0,00 gr y capacidad máxima de pesado de 300 gr, que se utilizara para la preparación de reactivos y cálculo de biomasa.
- **Balanza de precisión:** Marca SANSON con, precisión de 0,0 gr y capacidad máxima de pesado de 20 kg, que se utilizara para el pesado de las muestras en bruto.
- **Licuadaora:** Marca Oster modelo BRLY07-z00-051, con capacidad máxima de 1L y tres velocidades, su función será reducir el tamaño de la pulpa de *Coffea arabica L.*
- **Multiparámetro de mesa:** Marca MILWAUKEE modelo MI 180, con capacidad de medir pH, Conductividad, Salinidad, potencial de oxido reducción, solidos disueltos; cuya función será hacer seguimiento como parámetros de control del proceso de degradación anaerobia.

3.5. Variables

3.5.1. Variable independiente

Cantidad de pulpa de *Coffea arabica L.* (peso en gr)

Indicadores

- Contenido de carbono (mg/gr)
- Biomasa de la pulpa de *Coffea arabica L.* (%)

3.5.2. Variable dependiente

Eficiencia de generación de biogás (%)

Indicadores

- Tasa de generación de biogás (L/gr)

- Tasa de generación de biometano (L/gr)
- Porcentaje de generación de biosol (%)
- Porcentaje de generación de biol (%)
- Índice germinativo del biol
- Dosificación del biosol (%)

3.5.3. Variable interviniente

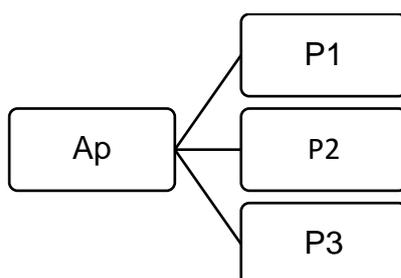
- Temperatura (°C)
- pH
- conductividad (mV)

3.6. Nivel de investigación

La investigación es experimental, porque se manipuló la variable independiente (dosis de aplicación de pulpa de *Coffea arabica L.*) y se medirá la variable dependiente (Potencial de aprovechamiento anaerobio) y se comparará con un testigo (absoluto). Sustentado en HERNÁNDEZ (2010) quien indica que el “experimento se refiere a la manipulación intencional de una o más variables independientes para analizar las consecuencias de las variables, dentro de una situación de control para el investigador”.

3.7. Diseño y esquema de investigación

Se adaptó un diseño experimental aplicado un diseño completamente al azar (DCA), constituido por un tipo de inóculo, tres concentraciones de pulpa de *Coffea arabica L.* y cinco repeticiones, con un total de 15 unidades experimentales, en las que se determinó el efecto de la aplicación de una cepa microbiana en condiciones de anaerobiosis para la biodegradación de la pulpa de *Coffea arabica L.*



Leyenda: [Ap]: Aprovechamiento de la pulpa de *Coffea arabica L*, [P1] Concentración de *Coffea arabica L* 1, [P2]: Concentración de *Coffea arabica L* 2, [P3]: Concentración de *Coffea arabica L* 3

Figura 1. Estructura de diseño

Cuadro 2. Descripción de las observaciones en estudio.

Tratamiento	Contenido de <i>Coffea arabica L</i>	Inoculo*	Agua destilada	Repeticiones
T0	0%	40%	60%	5
T1	15%	40%	45%	5
T2	30%	40%	30%	5
T3	60%	40%	0%	5

* Descripción en el ítem 3.10.1

3.8. Diseño estadístico

Se distribuyó los tratamientos de acuerdo al modelo estadístico completamente al azar (DCA) con cinco repeticiones, además se realizó una Análisis de Varianza para la prueba de hipótesis al nivel de significancia del 5%, para repeticiones y tratamientos. Para la verificación de los promedios la prueba de amplitudes de significación de Duncan al 5%.

Cuadro 3. Análisis de Variancia (ANVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Signif
Tratamientos	t – 1	ST- e	SCtrat/GLtrat	CMtrat/CMe	Fc> Ft
Error	t(r-1)	SCT-SCtrat	SCerror/GLe		
TOTAL	t.r-1				

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software libre R Statistic, los datos se presentan en tablas analizadas estadísticamente y presentadas gráficamente en líneas de tendencia.

3.9. Fase de campo

3.9.1. Preparación de inóculo

Los microorganismos fueron colectados de medios con predominancia anoxia como el agua y los lodos del canal de efluentes residuales de porcino de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los cuales fueron cultivados en agar Saburou y agar Cled, por 4 días en anaerobiosis, para luego ser introducidos en caldo Cled para su propagación en anoxia por 4 días más, quedando así listos para su inserción en el reactor de acondicionamiento de 15 litros, en el cual se adiciono 2 litros de melaza, y se completó con agua destilada, se dejó reposar por 15 días, luego se hizo el recuento respectivo de bacterias que fueron de 460000 UFC/ml y fúngico 376000 UFC/ml.

3.9.2. Colecta de pulpa de *Coffea arabica* L.

La pulpa de *Coffea arabica* L. fue recolectada en *Coffea arabica* L. cerezo del fundo la Divisoria de la UNAS y se despulpó en el laboratorio, tomándose una muestra de 10 kg para el uso en los respectivos biorreactores, así como también para los análisis de caracterización.

3.10. Fase de laboratorio

3.10.1. Montaje experimental

El sistema de montaje para el desarrollo de la investigación estuvo compuesto por frascos los que se adaptaron como reactor de 1 L, los cuales se introdujeron en un baño maría a 37 °C y se conectaron a los frascos de medición de volumen y frasco de remoción de impurezas, dependiendo el tipo de tratamiento (biogás o biometano).

Al reactor principal se le realizó una prueba hidráulica con agua destilada antes de poner en funcionamiento para luego adicionar según tratamiento un volumen pre establecido de pulpa de café, inóculo de microorganismos y agua, debido a que el pH de la pulpa de café es bajo (alrededor de 3), se adicionó hidróxido de sodio (NaOH) 3M, hasta lograr un valor de pH entre 6 y 8.5, posterior a esto se adicionó tampón de ortofosfato de potasio di hidrogeno anhidro (KH_2PO_4) y ortofosfato de potasio hidrogeno (dibásico) anhidro (K_2HPO_4), según peso de biomasa de pulpa de café agregada, luego de ello, se cerraron los reactores y se colocaron en el baño maría.

El sistema de medición de volumen de biogás consistió en un frasco de 1L, el cual contenía anaranjado de metilo y ácido clorhídrico 1 N con la finalidad de garantizar un pH de 3, los que impedirán la disolución de los gases así mismo dicha disolución se usó a modo de pistón para poder medir el rebose generado por la producción de biogás, el cual se midió con una probeta.

El sistema volumétrico para el caso del biometano, el montaje fue similar, pero se agregó un frasco intermedio entre el reactor y el rebose, el cual cumplió las veces de lavador de gases para remover el sulfuro de hidrogeno y otros gases, por lo que contenía hidróxido de sodio (NaOH) 3 M con indicador Thymolphthaleina para garantizar un pH aproximado de 12.



Figura 2. Sistema para el cálculo de la generación de biogás y metano

3.10.2. Determinación de la estabilidad degradativa de la pulpa de *Coffea arabica L.*

El nivel de estabilidad se determinó mediante la aplicación del Potencial bioquímico de metano (PBM) y la actividad metalogénica específica (AME) mediante el nivel de estabilización de metano y biogás generado en el proceso de estabilización en la generación de rebose de los contenedores de agua del montaje experimental, el cual se expresará en mL de biogás y metano / gr de pulpa de *Coffea arabica L* biodegradada por anaerobiosis (mL/gr).

3.10.3. Determinación de los niveles de eficiencia

La eficiencia de producción se determinó en forma porcentual respecto a la biomasa inicial utilizada por tratamiento y su respectivo porcentaje de producción de Biosol, Biol, biogas y Biometano.

3.10.4. Evaluación de la producción de biogás y biometano

- **Actividad metanogénica**

“Se calculó a partir de la velocidad de producción de metano, según la ecuación” (SOTO *et al.*, 1993):

$$BMP_t = B_0(1 - \exp^{-k-t})$$

Donde:

BMP: Potencial bioquímico de metano (mlCH₄/gSV);

B₀: Producción máxima de metano (mlCH₄/gSV);

k: Constante de velocidad de BMP, expresada en [día⁻¹]

t: Tiempo [días]

haciendo uso de la ecuación de los gases ideales se calculó el volumen de CH₄ equivalente a 1 g DQO consumida, a las condiciones de 20 °C y 740 mmHg (0.97 atm) de presión:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Dónde:

P: Presión 740 mmHg o 0.97 atm

V: Volumen a hallar

n: 0.0156 mol

R: 0.082 L.atm/mol.K

T: 20 °C o 293 Kelvin

3.10.5. Evaluación del efecto fitotóxico del biol

Esta prueba se realizó mediante el índice de germinación y se preparó una solución con relación 1/10 (10 ml de biol en 100 mL de agua destilada), el que se agitó por media hora y se filtró con papel filtro número 40 para almacenarlo en matraces de un litro.

Seguidamente en una placa Petri de 15 mm de diámetro se colocó un papel filtro, el cual será humedecido con 10 mL de la solución para seguidamente colocar en las placas 10 semillas de mastuerzo (*Lepidium sativum*), las placas se humedecieron con agua destilada durante el periodo de evaluación los que fueron de 9 días (2 de germinación y 7 de crecimiento).

Pasado este tiempo, se midió la longitud radicular y la biomasa, las cuales se compararon con un testigo sembrado únicamente con agua destilada, con los valores obtenidos se determinó el índice de germinación utilizando la ecuación siguiente:

$$PGR = \frac{\text{Numero de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Numero de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Elongacion radicular en extracto}}{\text{Elongacion de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

Donde:

PGR = Porcentaje de germinación relativa

CRR = Crecimiento Radicular Relativo

IG = Índice de Germinación

3.10.6. Evaluación del efecto fitotóxico del biosol

Índice de germinación

Para el índice de germinación se preparó una dilución con relación 1/10 (10 gramos de compost en 100 mL de agua destilada), la cual se agito por 30 minutos y se filtró con papel filtro número 40 para almacenarlo en matraces.

Para seguidamente colocar en una placa Petri de 15 mm de diámetro papel filtro, el cual se humedeció con 10 mL de la solución filtrada, para posteriormente sembrar 10 semillas de mastuerzo (*Lepidium sativum*), una vez

sembrada se volvió a humedecer la muestra con agua destilada, la evaluación se llevó a cabo durante 9 días (2 de germinación y 7 de crecimiento).

Transcurrido este tiempo, se midió la longitud radicular y la biomasa, las cuales se compararon con un testigo sembrado únicamente con agua destilada, con los valores obtenidos se determinó el índice de germinación utilizando la formula siguiente:

$$PGR = \frac{\text{Numero de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Numero de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Elongacion radicular en extracto}}{\text{Elongacion radicular en el testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

Donde:

PGR = Porcentaje de germinación relativa

CRR = Crecimiento Radicular Relativo

IG = Índice de Germinación

Generación de biomasa

Posterior al proceso se determinó el tiempo de germinación de cada tratamiento (en días), se realizó las observaciones de crecimiento homogéneo, y se determinó el peso de la generación de biomasa, para posteriormente con los datos realizar los siguientes cálculos:

$$R_g = T_m - T_c$$

Donde:

R_g = Retraso germinativo en días

T_m = Tiempo de germinación de la muestra en días

T_c = tiempo de germinación del control en días

$$B_m = \frac{100 \times P_m}{P_c}$$

Donde:

B_m = Biomasa generada (porcentaje respecto al control)

P_m = Peso en gramos de la muestra

P_c = Peso en gramos del control

El promedio de los resultados que se obtengan del testigo será considerado como el 100% para tomar como punto de inicio y comparar con los resultados de los tratamientos ya que no se cuenta con datos de crecimiento de raíces, germinación para semillas de mastuerzo (*Lepidium sativum*).

IV. RESULTADOS

4.1. Tiempo de estabilidad degradativa anaerobia

En la presente investigación se ha podido constatar que la producción de biogás se da hasta los 8 días para el caso del testigo, para el biometano este tiempo ha sido menor siendo hasta el quinto día en el que se ha registrado la producción de este gas el mismo que se refleja en la Figura 3.

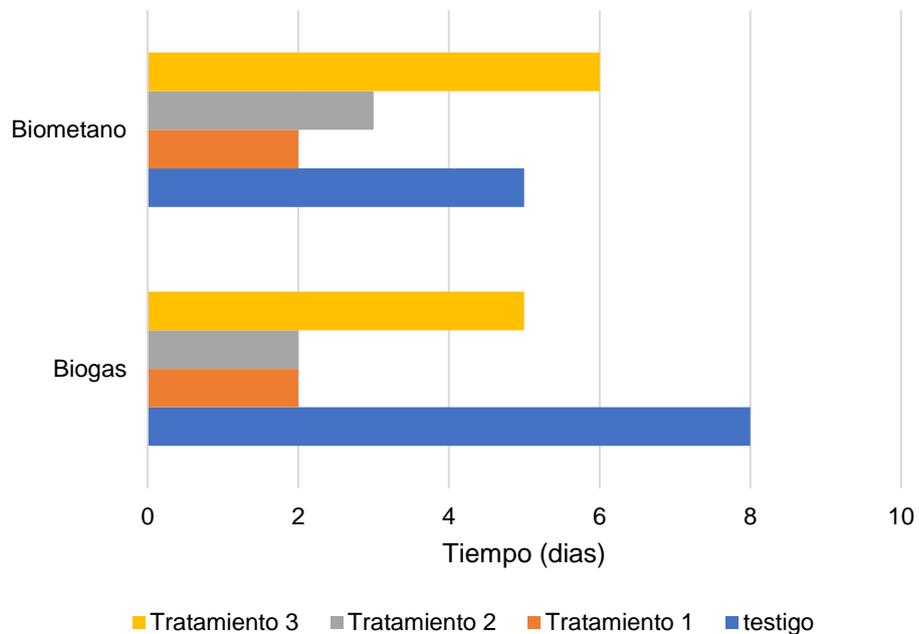


Figura 3. Tiempo de estabilidad del biogás y biometano en el testigo y los tres tratamientos.

Para el caso del T1 el que consta de 40% de inóculo + 45% de agua + 15% de pulpa de café, se puede observar que el tiempo de estabilidad degradativa es de 02 días para el biometano y el biogás.

El T2 que está compuesto de 40% de inóculo + 30% de agua + 30% de pulpa de café se observa una variación en la producción de biometano el mismo que se prolonga hasta el tercer día en la repetición 3 y la producción de

biogás se registra hasta el segundo día observándose dichas diferencias en la figura 3.

El T3 constituido de 40% de inóculo + 60% de pulpa de café se ha observado una producción de biogás hasta el quinto día y biometano hasta el sexto día como se observa en la Figura 3.

En la figura 4 se observa con más detalle el tiempo de estabilidad degradativa anaerobia para el testigo y los tres tratamientos tanto para el biometano y el biogás, así mismo hay una variación en la cantidad de producción de estos gases respecto al testigo y los tratamientos.

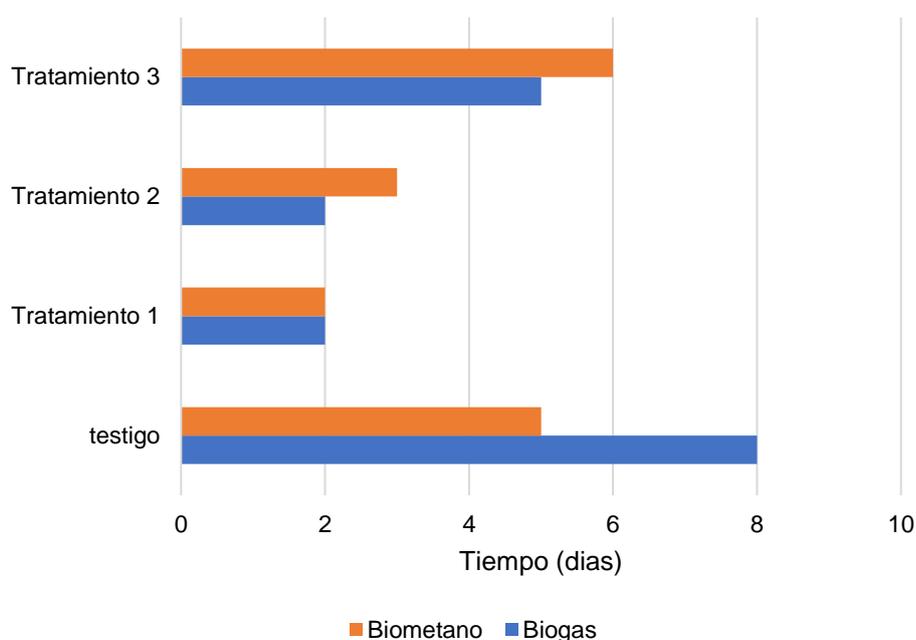


Figura 4. Tiempo de producción de biogás y biometano para los tratamientos y el testigo

4.2. Eficiencia de degradación anaerobia

La eficiencia en degradación es muy variable entre los tres tratamientos reflejándose dichas diferencias en los pesos en fresco y en seco del

biosol y el volumen en fresco del sustrato como se puede ver a detalle en el cuadro 4.

Cuadro 4. Porcentaje de degradación respecto a los pesos de los tres tratamientos

Tratamiento	Parámetro	W fresco	W seco	Vol fresco
T1	degradación (%)	23.37	49.76	43.73
	Biosol (%)	76.63	50.24	56.27
T2	degradación (%)	21.27	55.01	63.50
	Biosol (%)	78.73	44.99	36.50
T3	degradación (%)	50.84	63.96	56.50
	Biosol (%)	49.16	36.04	43.50

La degradación en función al peso fresco es menor para los tratamientos 1 y 2 los que están dados por un 23.37 % y 21.27% respectivamente siendo mayor para el T3 el mismo que está en un 50.84% según se observa en la figura 5.

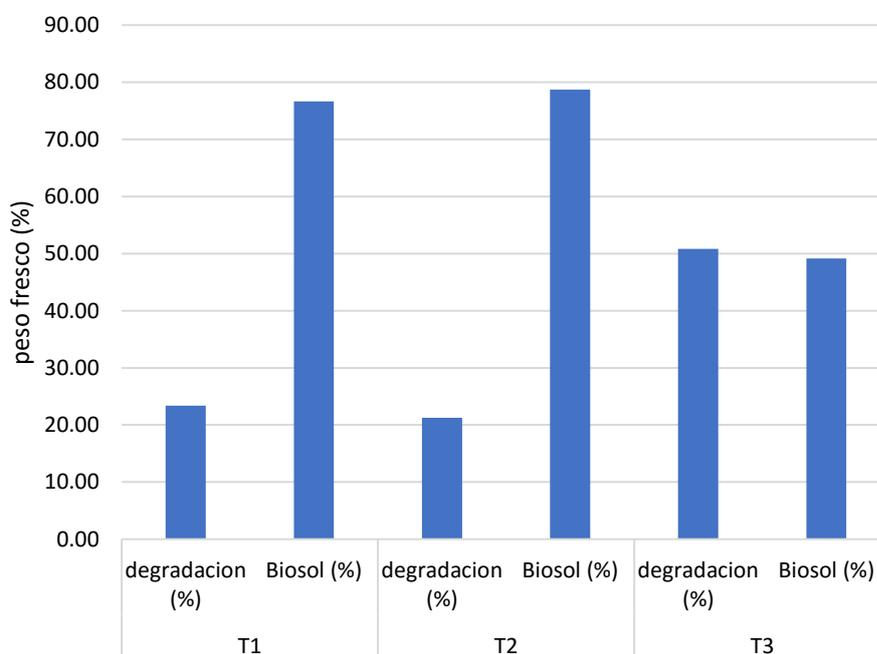


Figura 5. Degradación en función al peso fresco

La degradación en función al peso seco para T1 es de 49.76 %, para T2 es de 55.01 % y para T3 es de 63.96% respectivamente según se observa en la figura 6.

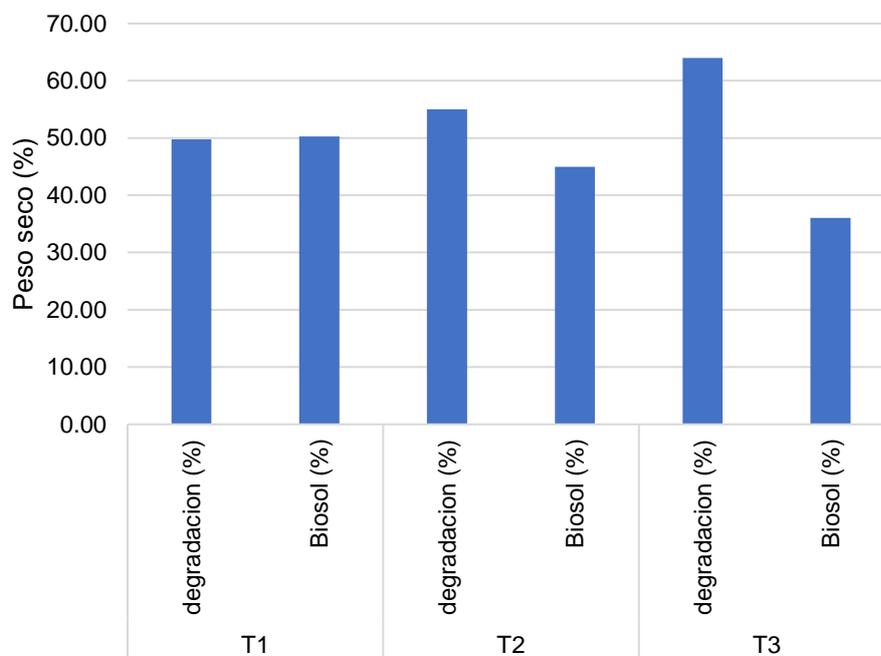


Figura 6. Degradación den función al peso seco

La degradación respecto al volumen presenta diferencias siendo este para T1 de 43.73 %, para T2 de 63.50% y para T3 de 56. 50 % los que se pueden observar con más detalle en la figura 7.

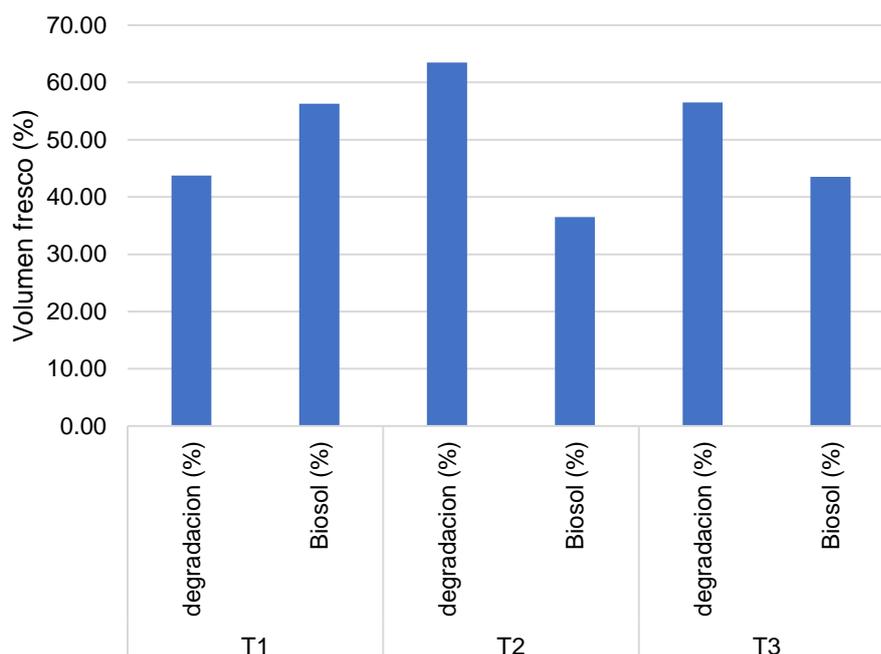


Figura 7. Degradación en función al volumen fresco

4.3. Potencial de generación de metano y biogás

4.3.1. Testigo

La producción de biogás para el testigo es de 361.72 ml en que en porcentajes es el 100% ya que este no ha sido sometido a ningún tratamiento de separación, por otro lado, la producción de biometano ha sido de 330.90 ml con una pureza de 91.48% los que se observan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Generación de biogás y biometano del inoculo

Componente	Volumen (ml)	pureza (%)	PBM	%
biogás	361.72	100	0.097	100
biometano	330.9	91.48	0.089	91.48
impurezas	30.820	8.52	0.008	8.52

En la figura 8 se aprecia el potencial de generación de biogás y biometano los que se inician desde el primer día y van subiendo hasta el quinto día para el biogás y el octavo día para el biometano así mismo el potencial de

generación de ellos mismos se incrementa paulatinamente hasta un 0.097 PBM para el biogás y 0.089 PBM para el biometano.

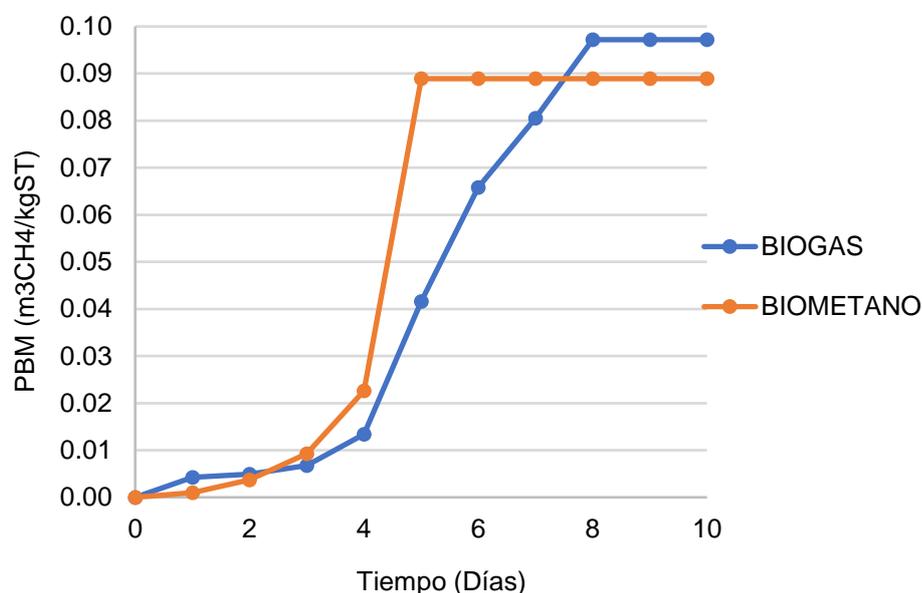


Figura 8. Potencial de generación de biometano

4.3.2. Tratamiento 1

La producción de biogás para T1 es de 465 ml en que en porcentajes es el 100% ya que este no ha sido sometido a ningún tratamiento de separación, por otro lado, la producción de biometano ha sido de 418.20 ml con una pureza de 89.94% los que se pueden apreciar a detalle en el cuadro 6.

Cuadro 6. Generación de biogás y biometano para en tratamiento 1

Componente	Volumen (ml)	pureza (%)	PBM	%
biogás	465	100	0.021	100
biometano	418.2	89.94	0.019	89.94
impurezas	46.800	10.06	0.002	10.06

En la figura 9 se puede ver el potencial de generación de biogás y biometano para el tratamiento 1 los que se inician desde el primer día y van subiendo hasta el segundo día para el biogás y el biometano así mismo el

potencial de generación de los mismos se incrementa paulatinamente hasta un 0.021 PBM para el biogás y 0.019 PBM para el biometano.

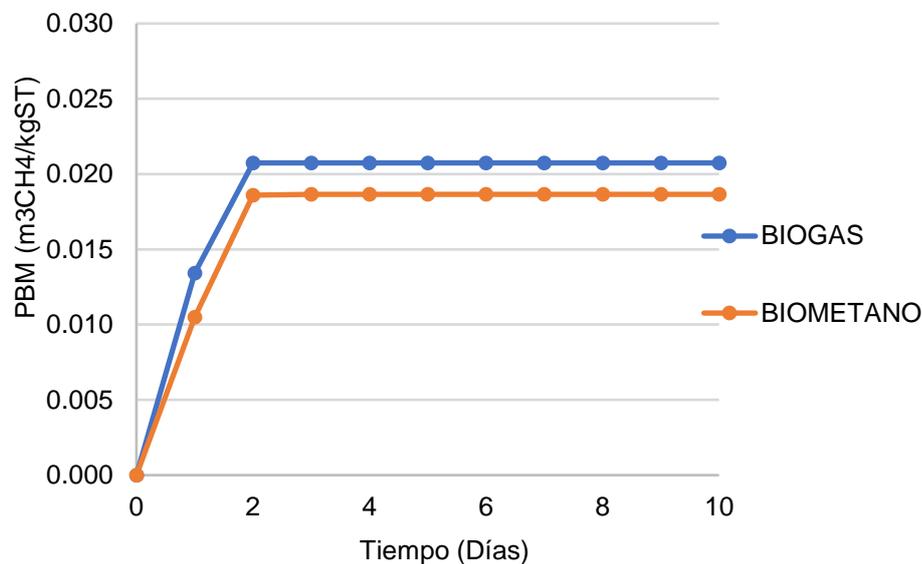


Figura 9. Potencial de generación de biometano para T1

4.3.3. Tratamiento 2

La producción de biogás para T2 es de 808.2 ml en que en porcentajes es el 100% ya que este no ha sido sometido a ningún tratamiento de separación, por otro lado, la producción de biometano ha sido de 531.80 ml con una pureza de 65.80% los que se pueden ver a detalle en el cuadro 7.

Cuadro 7. Generación de biogás y biometano para el tratamiento 2

Componente	Volumen (ml)	pureza (%)	PBM	%
biogás	808.2	100	0.020	100
biometano	531.8	65.80	0.013	65.80
impurezas	276.400	34.20	0.007	34.20

En la figura 10 se puede ver el potencial de generación de biogás y biometano para el tratamiento 2 los que se inician desde el primer día y van subiendo hasta el segundo día para el biogás y el biometano así mismo el

potencial de generación de los mismos se incrementa paulatinamente hasta un 0.020 PBM para el biogás y 0.013 PBM para el biometano.

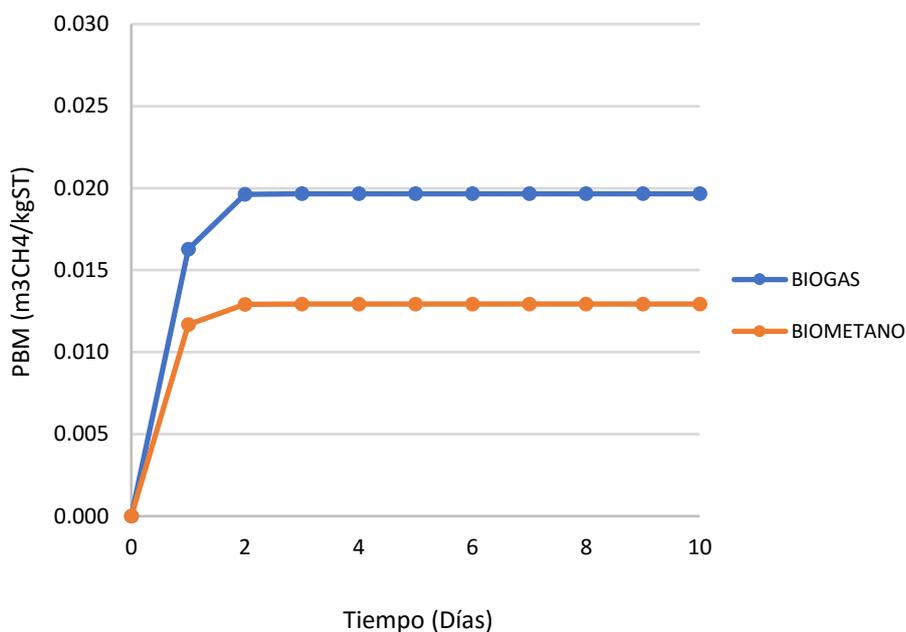


Figura 10. Potencial de generación de biometano para T2

4.3.4. Tratamiento 3

La producción de biogás para T3 es de 1058.58 ml en que en porcentajes es el 100% ya que este no ha sido sometido a ningún tratamiento de separación, por otro lado, la producción de biometano ha sido de 235.24 ml con una pureza de 22.22% los que se puede ver en el cuadro 8.

Cuadro 8. Generación de biogás y biometano para el tratamiento 3

Componente	Volumen (ml)	pureza (%)	PBM	%
biogás	1058.58	100	0.013	100
biometano	235.24	22.22	0.003	22.22
impurezas	823.340	77.78	0.010	77.78

La figura 11 muestra el potencial de generación de biogás y biometano para el tratamiento 3 los que se inician desde el primer día y van

subiendo hasta el sexto día para el biogás y octavo día para el biometano así mismo el potencial de generación de los mismos se incrementa paulatinamente hasta un 0.013 PBM para el biogás y 0.003 PBM para el biometano siendo bajos respecto a T1 y T2.

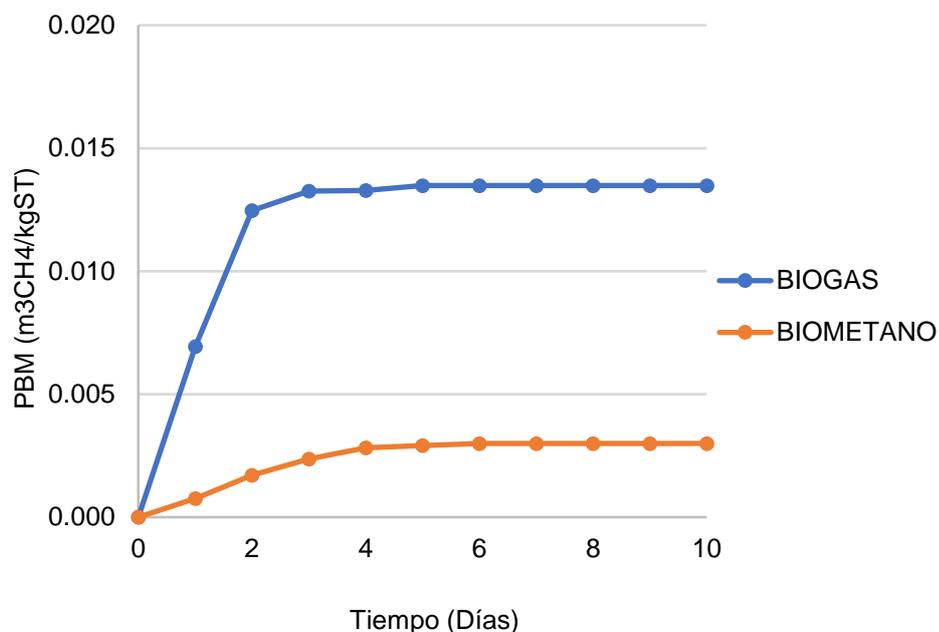


Figura 11. Potencial de generación de biometano para T3

La variabilidad en la generación de metano se vio reflejada en función a la cantidad y pureza de gas, como se aprecia en la figura 12, el tratamiento 3 presento la mayor producción de gas e impurezas, ya que solo llego a generar un 22% de metano y un 77% de impurezas como se aprecia en la figura 13.

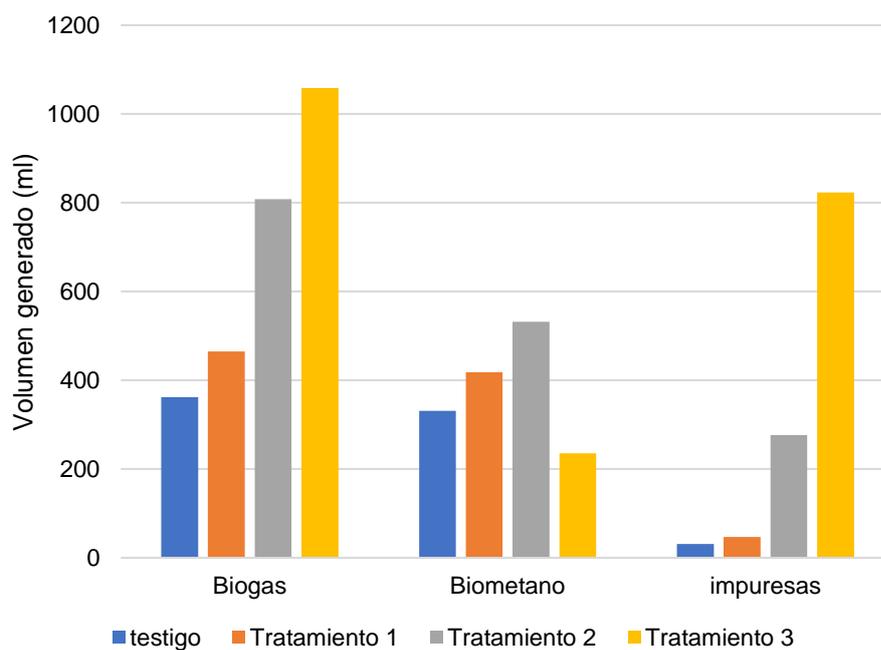


Figura 12. Composición volumétrica de los gases por tratamiento

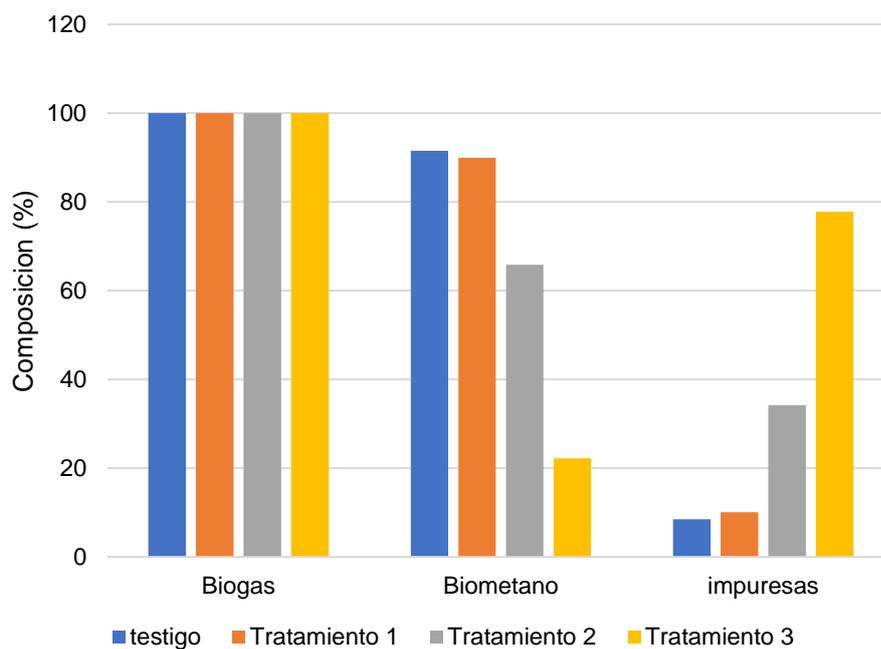


Figura 13. Composición porcentual de los gases por tratamiento

El potencial de generación de metano para la pulpa de café fue inversamente proporcional a la cantidad de café agregado como se muestra en la figura 14, donde también se puede apreciar que el inóculo empleado presenta

un gran potencial de generación de metano, muy superior a los tratamientos propuestos.

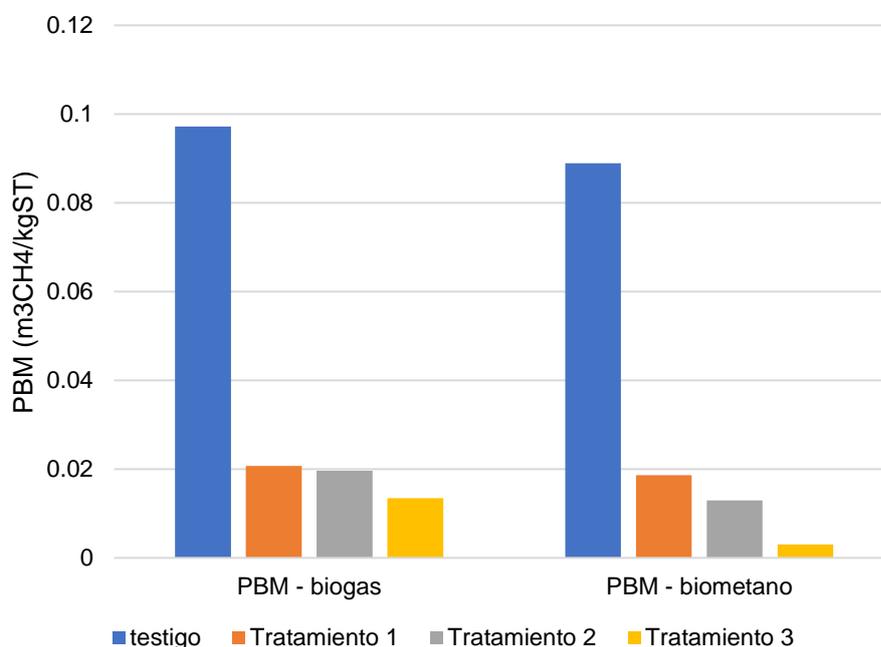


Figura 14. Variación en el potencial bioquímico de metano por tratamiento

4.4. Efecto fitotóxico

4.4.1. Porcentaje de germinación relativa (Pgr)

Para el cálculo del porcentaje de germinación, desarrollo radicular relativo y el índice de germinación se ha sembrado un testigo el mismo que consta de 10 semillas de mastuerzo (*Lepidium sativum*) de los que se ha podido observar una germinación en promedio de 8.33 semillas el cual se toma como si fuera el 100 %. Para luego a partir de este realizar la comparación con los testigos dando resultados variables entre tratamiento y entre el biol y el biosol respectivamente en los que según el Cuadro 9. Podemos ver que para T1 en biol se tiene un porcentaje de germinación de 96 % y para el biosol un 92 % de germinación respectivamente, para T2 en biol se tiene un porcentaje de germinación de 84 % y para el biosol un 96% y para T3 en biol se tiene un

porcentaje de germinación de 92% y para el biosol un 88%, como se aprecia en la figura 15.

Cuadro 9. Porcentaje de germinación, crecimiento radicular relativo e índice de germinación del biol y el biosol

Muestra	Porcentaje de Germinación Relativa (PGR)	Crecimiento Radícula Relativo (CRR)	Índice de Germinación (IG)
Testigo	100	100	100
Biol - T1	96	141	136
Biosol - T1	92	85	78
Biol - T2	84	154	130
Biosol - T2	96	58	56
Biol - T3	92	100	92
Biosol - T3	88	41	36

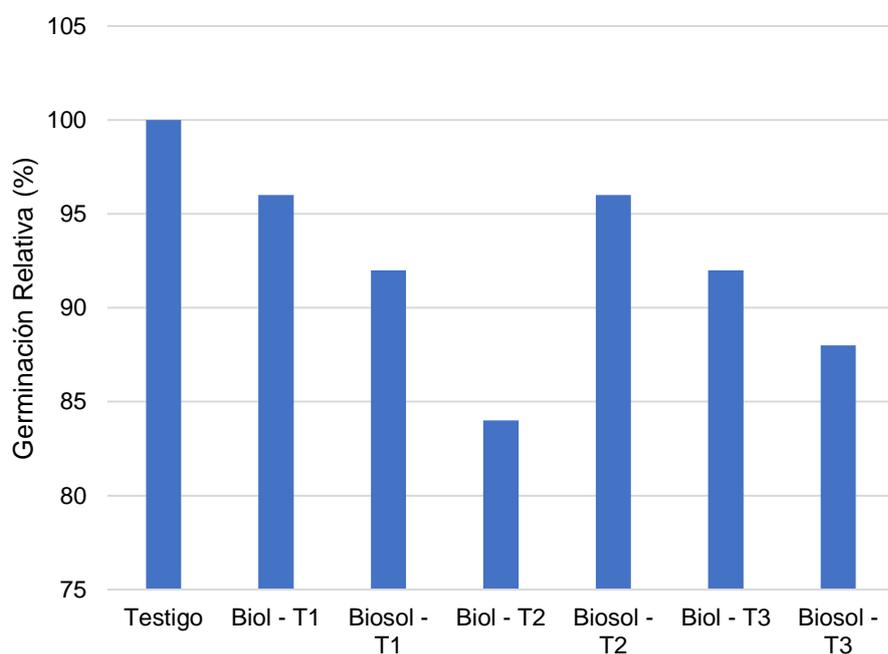


Figura 15. Efecto del biol y biosol en la germinación

4.4.2. Crecimiento radicular relativo (Crr)

Como resultados del crecimiento radicular se obtuvieron para T1 en biol 141 % y para el biosol 85%, para T2 en biol se tiene 154% y para el biosol 58% y para T3 en biol un crecimiento de 100% y biosol 41% de crecimiento que se muestran en la Figura 16.

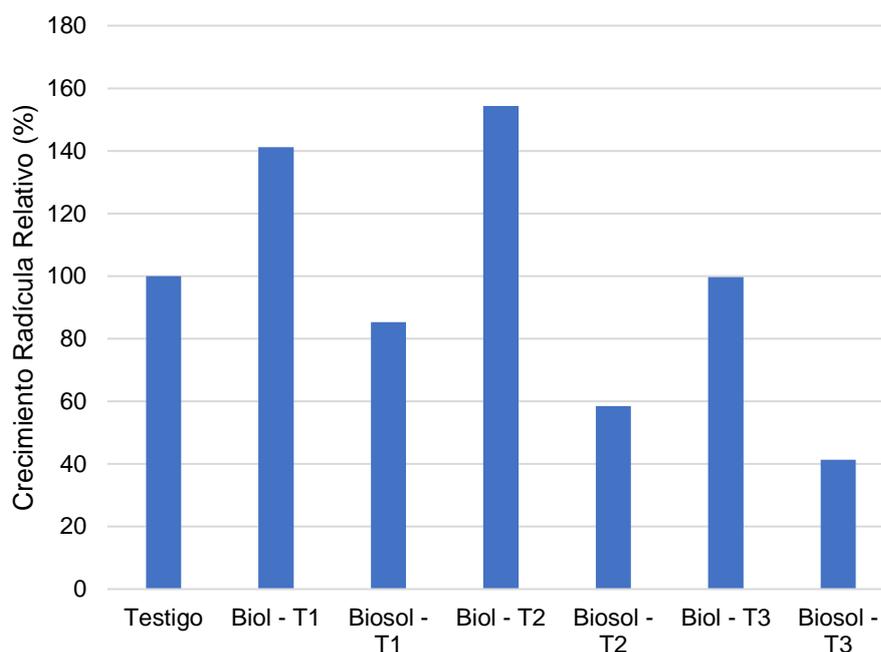


Figura 16. Efectos del biol y biosol em desarrollo radicular

4.4.3. Índice de germinación (Ig)

Una vez procesado los datos como se aprecia en la figura 17, se obtuvo que para T1 en biol se tiene un índice de germinación de 136% y para el biosol un 78%, para T2 se tiene un índice de germinación de 130% y para el biosol un 56%, para T3 se tiene un índice de germinación de 92% y para el biosol un 36% los que se pueden observar en el cuadro 9 del presente informe.

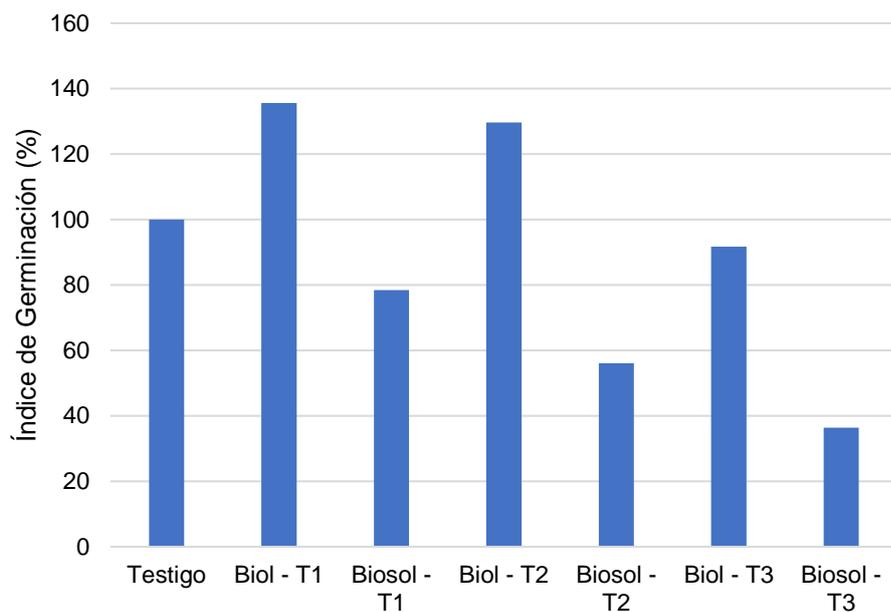


Figura 17. Efectos del biol y biosol en el índice de germinación

La variabilidad en el índice de germinación se mostró en la ganancia de biomasa y contenido de humedad de las plantas, donde el tratamiento 3 mostro valores anómalos producto del efecto toxico que se muestra en la figura 18

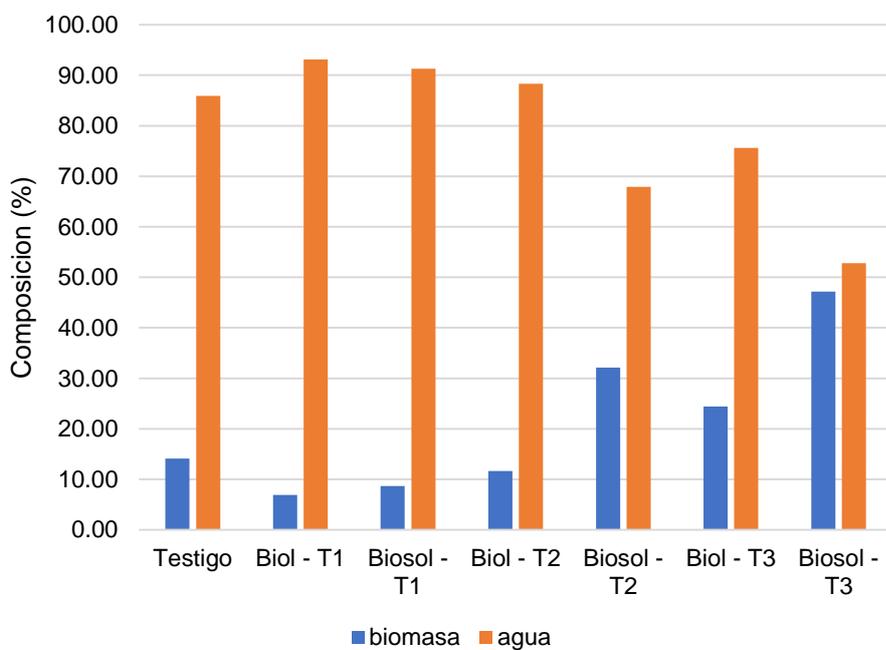


Figura 18. Efecto del biol y biosol en la biomasa germinada

4.5. Análisis estadístico

4.5.1. Pruebas de normalidad de shapiro-wilk

La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para comparar los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos, para determinar si la pérdida de biomasa puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. Dado que el menor valor-P entre las pruebas realizadas es menor que 0.05, se puede rechazar la idea de que la pérdida de biomasa proviene de una distribución normal con 95% de confianza como se presenta en el cuadro 10 y figura 19.

Cuadro 10. pruebas de normalidad de Shapiro - Wilk

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.871674	0.00156323

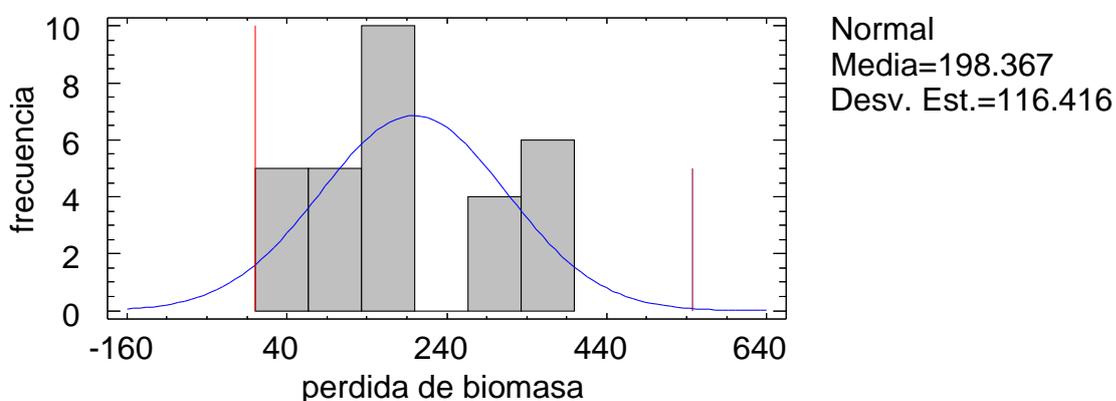


Figura 19. Compatibilidad de Proceso para pérdida de biomasa

4.5.2. Verificación de varianza

La estadística mostrada en el cuadro 11 evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de pérdida de biomasa dentro de cada uno de los 3 niveles de Tratamiento sea la misma en función al valor-P. Puesto que el valor-

P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes.

Cuadro 11. Verificación de la varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	9.9797	0.000569058

4.5.3. Prueba de kruskal-wallis para pérdida de biomasa

La prueba de Kruskal-Wallis evaluó la hipótesis de que las medianas de pérdida de biomasa dentro de cada uno de los 3 niveles de Tratamiento son iguales. ya que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza, como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Prueba de Kruskal-Wallis

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	10	5.5
2	10	15.5
3	10	25.5

Estadístico = 25.8467 Valor-P = 0.00000244039

4.5.4. Análisis de Varianza para pérdida de biomasa

El análisis de varianza presentado en el cuadro 13 muestra que la razón-F, que en este caso es igual a 275.476. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pérdida de biomasa entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95% de confianza.

Cuadro 13. Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	374666.	2	187333.	275.48	0.0000
Intra grupos	18360.9	27	680.033		
Total (Corr.)	393027.	29			

4.5.5. Pruebas de múltiples rangos de tukey

En el cuadro 14 se muestra la comparación múltiple para establecer las medias significativamente diferentes de otras, estimadas entre cada par de medias, por lo que cada asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza.

Cuadro 14. Comparación de la significancia según prueba de Tukey

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-124.9	28.9233
1 - 3	*	-273.4	28.9233
2 - 3	*	-148.5	28.9233

* indica una diferencia significativa.

Por lo tanto, con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes como se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Prueba de Tukey

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	10	65.6	X
2	10	190.5	X
3	10	339.0	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

V. DISCUSIÓN

5.1. Tiempo de estabilidad degradativa anaerobia

La producción de biogás se da hasta los 8 días para el caso del testigo, para el biometano este tiempo ha sido menor siendo hasta el quinto día en el que se ha registrado la producción de este gas, para T1 este tiempo es de 2 días a diferencia de T2 para el biometano se da hasta el tercer día y el biogás hasta el segundo día y para T3 se ha observado una producción de biogás hasta el quinto día y biometano hasta el sexto día, ASÍS *et al.* (2006) menciona que “El tiempo de retención hidráulico seleccionado es de 15 días, tiempo necesario para la degradación biológica anaeróbica completa”. El que para la presente investigación se dio desde el primer día de instalación hasta el octavo día para el caso del testigo y entre dos y seis días para los tratamientos el mismo que se puede dar debido a que para la presente investigación se ha optado por licuar el sustrato con la finalidad de acelerar la degradación y obtener una mayor eficiencia en la degradación y una mayor producción de biogás y biometano, LONDOÑO (2017) menciona que en los primeros 11 días la producción de biogás y biometano es muy irregular, en comparación con nuestro trabajo estos son irregulares respecto al tiempo y la cantidad de gas producidos.

5.2. Eficiencia de degradación anaerobia

Se ha encontrado, que digestores estables pueden reducir desde el 50 % al 70 % de SV en condiciones mesofílicas, y hasta el 80 % en los reactores termofílicos VANATTA y SLINGSBY (2003), para nuestra investigación se han obtenido resultados de degradación de sólidos de 23.37% para T1, 21.27% para T2 y de 50.84% para T3 el cual estaría dentro de los parámetros mencionados por VANATTA y SLINGSBY (2003), mas no así para T1 y T2 que estarían por

debajo de lo mencionado los mismos que podrían darse por el bajo nivel de concentración del sustrato ya que para T3 se usó 60% de pulpa de café y 40 % de inóculo al mismo que no se le agregó agua.

La reducción se da por efecto de la descomposición de los sustratos por la comunidad microbiana, dependiendo de las condiciones de los reactores, estos sólidos serán transformados a CH_4 u otros metabolitos (CO_2 , H_2S , NH_4^+ , NO_2 , etc.). En los primeros períodos, esta reducción fue mayor y fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo ROJAS (2015).

La degradación en función al peso seco para T1 es de 49.76 %, para T2 es de 55.01 % y para T3 es de 63.96% respectivamente según se observa en la figura 4 los que estarían dentro de ellos parámetros observados por VANATTA y SLINGSBY (2003), la degradación respecto al volumen presenta diferencias siendo este para T1 de 43.73 %, para T2 de 63.50% y para T3 de 56.50 % los que se pueden observar con más detalle en la figura 5.

5.3. Potencial de generación de metano y biogás

La producción de biogás para T1 es de 465 ml los que corresponden al 100% ya que este no ha sido sometido a ningún tratamiento de separación, por otro lado, la producción de biometano ha sido de 418.20 ml con una pureza de 89.94%, para T2 la producción de biogás fue de 808.2 ml y la producción de biometano ha alcanzado los 531.80 ml el mismo que en porcentajes alcanza los 65.80% y para T3 se ha alcanzado una mayor generación de biogás registrándose valores de 1058.58 ml y para el biometano valores de 235.24 ml con una pureza de 22.22% de los que se puede ver claramente que hay una mayor cantidad de impurezas llegando a alcanzar un 77.78%, Según BALSECA y CABRERA (2011), en ensayos similares obtuvieron 128 L de biogás por kilogramo de pulpa de café. A su vez, Calle y Arcila 1974 citado por ROSA (2015) reportan rendimientos de 25 L de biogás por kilogramo de pulpa fresca alimentada a los digestores.

LORENZO y OBAYA (2005), afirman que la cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/Kg de sólidos degradables, en esta investigación se llegó a 65.80% de producción de biometano para T2, asimismo se puede observar que a mayor concentración de pulpa de café la producción de biogás incrementa pero se tiene una disminución en la producción de biometano por lo que con ello se percibe el alto contenido de impurezas en el biogás.

SANABRIA *et al.* (2018), menciona que se han obtenido biogás en 23 y 31 días en reactores tipo Bach para sustratos de pasto y aserrín así mismo la mayor cantidad de producción de biogás corresponde al aserrín ya que logro obtener 9000 ml de y para el pasto 8100 ml respectivamente. Los que en comparación con los resultados obtenidos para sustratos de café con los que hemos realizado esta investigación sería el T3 ya que se logró obtener la mayor cantidad de biogás, respecto al metano este sería menor en comparación de los tratamiento uno y dos ya que se observó que a mayor cantidad de sustrato la producción de bigas aumenta pero la cantidad de biometano disminuye mas no así para los tratamiento uno y dos en estos la cantidad de producción de biometano alcanzan hasta un 89.94% y 65.80% respectivamente. Esto también podría darse debido a que en esta prueba a fin de acelerar la asimilación de los microorganismo se optó por triturar el sustrato y respecto a la composición el T3 no se le agrego agua conteniendo solo inoculo y sustrato por lo que habría más materia orgánica a degradar.

5.4. Efecto fitotóxico

El efecto fitotóxico está establecido como un indicador normativo en muchos países como México, con la finalidad de determinar la aplicabilidad de los derivado de un proceso de degradación como el compostaje, pero que puede ser aplicado en modo general para determinar el potencial de uso de un inestabilizado biológico con fines agrícolas, tal es así que el presente trabajo de investigación al realizarse el análisis comparativo entre el potencial fitotóxico

entre la fracción sólida (biosol) y la fracción líquida (biol), se demostró que si hay un alto potencial de aplicabilidad ya que su efecto sobre la germinación no fue muy pronunciado, a excepción de la concentración más alta en estudio, que se percibió en el achaparramiento de las plántulas con más alta dosis de biosol, por lo que se infiere que es necesario un tratamiento mecánico biológico posterior para poder reaprovechar este biorresiduo.

VI. CONCLUSIONES

1. El tiempo óptimo para la biodegradación de la pulpa de café en condiciones de anaerobiosis y haciendo uso de biorreactores tipo Bach fue de 3 días.
2. Se logró una máxima eficiencia de degradación de la pulpa de café de hasta un 63% en función a la masa seca.
3. Se observó una relación inversa en la dosificación de pulpa de cascara de café con la generación de biogás y biometano.
4. El máximo porcentaje de generación de metano se produce en concentraciones menores del 30%, llegando a convertir hasta un 90 % de la biomasa en metano.
5. El biosol de la pulpa de café presentó mayor efecto fitotóxico en el crecimiento de las semillas de mastuerzo (*Lepidium sativum*).
6. En el presente estudio se determinó que las impurezas en la generación de biometano pueden alcanzar valores del 77%.
7. La pulpa del beneficio del café mediante una transformación microbiana puede llegar a ser reaprovechada hasta en un 63% para la obtención de biometano.

VII. RECOMENDACIONES

1. Hacer pruebas de generación de biogás y biometano con Re estabilización de pH, con la finalidad de ver la variabilidad en la generación de biogás y los niveles de pureza en el biometano generado.
2. Acoplar estudios de rentabilidad económica en la generación de biogás y biometano.
3. Verificar los niveles de calidad y pureza del compost, mediante técnicas de cromatografías de gases.
4. Debido a la tendencia natural a la acides por parte de la pulpa de café, este se podría recombinar con residuos de carácter más alcalino como el estiércol de cerdo o de gallina, para evitar el uso de reactivos básicos.
5. Caracterizar los gases contaminantes generados como impurezas en el proceso de degradación anaerobia, para mejorar el proceso de degradación.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMAYA, L. F., CELIS, B., FARRERA, P. R., GARCÍA, A.M., MANRIQUE, M.J., MEDINA, J., MURILLO, A., ROMERO, A., SÁNCHEZ, L., SAYAZO, A.M., SILVA ACUÑA, R., YÁNEZ N., ZAVALA, Y. 1988. Paquete Tecnológico para la Producción de Café. No. 6. FONAIAP. Maracay, Venezuela.
- AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A., FORESTI, E., FLORENCIO DOS SANTOS, M. DE L., MONTEGGIA, L. O. 2007. Methodologies for determining the Specific Methanogenic Activity (SMA) in Anaerobic Sludges. Eng.Sanit. Ambient, 12(2), 192–201. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522007000200010&script=sci_arttext
- ASÍS H., DOPAZO F., GIANOGLIO P. J., 2006. Producción De Energía A Partir De Biogás Obtenido De Residuos Sólidos Urbanos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER. Avenida de la Universidad 501. ARGENTINA.
- BAUTISTA, O., BARRUETA, E., ACEVEDO, L. 1999c. Utilización de la pulpa de café ensilada en raciones para cerdos en crecimiento y acabado. En Ramírez J. (Ed.) Pulpa de Café Ensilada. Producción, Caracterización y Utilización en la Alimentación Animal. CDCH. Universidad Central de Venezuela. Caracas. pp. 84-101.
- BAUTISTA, O., MOLINA, N., RODRÍGUEZ, L. 1999b. Utilización de la pulpa de café ensilada con melaza y bacterias en raciones para conejos en crecimiento y engorde. X Congreso Venezolano de Zootecnia. San Cristóbal, Venezuela.
- BAUTISTA, O., PERNÍA, J., BARRUETA, D., USECHE, M. 2005. Pulpa ecológica de café ensilada en la alimentación de alevines del híbrido de cachamay (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*). Rev. Cien. Fac. Cien. Vet. LUZ, 15(1): 33-40

- BAUTISTA, O., USECHE, M., PÉREZ, P., LINARES, F. 1999a. Utilización de la pulpa de café ensilada y deshidratada en la alimentación de cachamay (*Colossoma x Piaractus*). En Ramírez J. (Ed.) Pulpa de Café Ensilada. Producción, Caracterización y Utilización en la Alimentación Animal. CDCH. Universidad Central de Venezuela. Caracas. pp. 109-135.
- BALSECA, D. y CABRERA, J. 2011. Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café. Zamorano, Honduras. 20 p.
- BOE, K. 2006. Online monitoring and control of the biogas process. Technical University of Denmark. Retrieved from http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:82736/datastreams/file_5083454/content
- BOONE, D., CHYNOWETH, D., MAH, R., SMITH, P., WILKIE, A. 1993. Ecology and Microbiology of Biogasification. *Biomass and Bioenergy*, 5(3-4), 191–202. Retrieved from [http://abe.ufl.edu/chyn/download/Publications_DC/Refereed/1993-7-Ecology and Microbiology.pdf](http://abe.ufl.edu/chyn/download/Publications_DC/Refereed/1993-7-Ecology%20and%20Microbiology.pdf)
- BORJA, R., MARTÍN, A. M., DURAN, M. M., DURAN, R. 1992. Estudio cinético comparativo del proceso de digestión anaerobia del alpechín en los intervalos mesofílico y termofílico de temperatura. *Grasas Y Aceites*, 43(6), 341–346. Retrieved from <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/viewFile/1130/1137>
- BRAHAM, J., BRESSANI, R. 1978. Coffee pulp. Composition, technology and utilization. Institute of Nutrition of Central America and Panama. Inter. Develop. Res. Centre. Ottawa, Canadá.
- CASTILLO, E., ACOSTA, Y., BETANCOURT, N., CASTELLANOS, E., MATOS, A., TELLEZ, V., CERDÁ, M. 2002. Utilización de la pulpa de café en la alimentación de alevines de tilapia roja. *Revista aquaTIC*, 16. Disponible en <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=143>.
- CASTILLO, R., CARBALLO, L. Y PÉREZ, N. 2008. Usos de la pulpa de café. Cuba: Pinar del Río.

- CHERNICHARO, C. A. 2007. Biological Wastewater Treatment Series. Volumen Four. Anaerobic Reactors (pp. 1–175).
- CIMOCHOWICZ-RYBICKA, M., & RYBICKI, S. 2013. Application of Respirometric Tests for Assessment of Methanogenic Bacteria Activity in Wastewater Sludge Processing. *Journal of Ecological Engineering*, 14(3), 44–52. doi:10.5604/2081139X.1056039
- CHYNOWETH, C.E. TURICK, J.M. OWENS, D. E. 1993. Biochemical Methane Potential of Biomass and Waste Feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 5(1), 95–111. Retrieved from http://abe.ufl.edu/chyn/download/Publications_DC/Refereed/1993-4-BMP of Biomass.pdf
- DEMIREL, B., SCHERER, P. 2008. The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7(2), 173–190. doi:10.1007/s11157-008-9131-1
- FERREIRA, I., OLALQUIAGA, J., TEIXEIRA, J. 2003. Componentes de carcaça e composição de alguns cortes de cordeiros Texel x Bergamácia, Texel Santa Inês e Santa Inês puros, terminados em confinamento, com casca de café como parte da dieta. *Rev. Bras. Zootec.*, 32(6): 178-199.
- FERREIRA, I., OLALQUIAGA, J., TEIXEIRA, J., PACHECO, C. 2000. Desempenho de cordeiros Texel x Bergamácia, Texel x Santa Inês e Santa Inês puros, terminados em confinamento, alimentados com casca de café como parte da dieta. *Rev. Bras. Zootec.*, 29(2): 89-100.
- FERRER, J., PÁEZ, G., CHIRINO, M., MÁRMOL, Z. 1995. Ensilaje de la pulpa de café. *Rev. Fac. Agron. LUZ*, 12: 417-428.
- GIRÓN, L. 2008. Desarrollarán producción de energía eléctrica a partir de residuos agroindustriales. *Comunica*. 1 p.
- HERNANDEZ, S., 2010. Metodología de la Investigación. 5ta edición. Editorial McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. de C.V. Mexico.

- HORIKAWA M. 2004. Chemical Absorption of H₂S for Biogas Purification. Brazilian Journal of Chemical Engineering, extraído de: <http://www.scielo.br/pdf>.
- HOLDRIDGE, 1995. Guía Explicativa del Mapa Ecológico del Perú, Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables. Lima, Peru. Pag.
- LONDOÑO H. 2017. Aprovechamiento De Pulpa De Café Para La Producción De Biogás En Un Reactor Flujo Pistón. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad De Ingeniería. Medellín Colombia.
- LORENZO, Y. Y OBAYA, M., 2005. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 48 p.
- MAYORGA, E. 2005. La pulpa de café: residuo o alimento. Universidad Central del Ecuador, Quito. Disponible en línea en <http://www.ugr.es/~ri/antiores/dial03/d28-3.htm>
- MONGE, O., CERTUCHA, M., ALMENDARIZ, J. 2013. Microbial Biomass in Batch and Continuous System. In Biomass Now - Sustainable Growth and Use (pp. 449–476). InTech. Retrieved from <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44384.pdf>
- MOODY, L., BURNS, R., WU-HAAN, W., ROBERT, S. 2009. Use of Biochemical Methane Potential (BMP) Assays for Predicting and Enhancing Anaerobic Digester Performance. In 44th Croatian & 44th International Symposium on Agriculture (pp. 930–934). Opatija. Retrieved from <http://sa.pfos.hr/sa2009/radovi/pdf/Radovi/r10-009.pdf>
- MORERO B. Y CAMPANELLA E.A. 2013. Simulación del proceso de absorción química con soluciones de aminas para la purificación de biogás. Información Tecnológica, vol. 24, no.1, pp. 25-32, Santiago de Chile, Chile.
- MPLP,. 2008. Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Leoncio Prado 2008-2015, Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, Tingo Maria, Peru. 112p.
- NORIEGA SALAZAR, A., SILVA ACUÑA, R., & GARCÍA DE SALCEDO, M. (2009). Composición química de la pulpa de café a diferentes tiempos

- de ensilaje para su uso potencial en la alimentación animal. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 135-141.
- ORTEGA, V., RODRIGUEZ, M., FRNANDEZ, S., BARCENAS, P. 2015. Principales métodos para la desulfuración del biogás. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), la Habana Cuba.
- PALACIO, F. 2007. Estudio de la prefactibilidad de generar energía eléctrica utilizando como fuente primaria la pulpa del café que se produce en la región de Cajamarca para satisfacer las necesidades de una finca que consume 1 MWh por mes. (Tesis de ingeniería inédita). Universidad de La Salle, Bogotá.
- RAMÍREZ, J. 1997. Compuestos fenólicos de la pulpa de café: Cromatografía de papel de la pulpa fresca de 12 cultivares de *Coffea arabica* L. Turrialba, 37: 317-323.
- RAMIREZ, J. 1998. Coffee pulp is a by product, not a waste. *Tea Coffee Trade J.*, 170: 116-123.
- RAMOS, M., GONZÁLEZ, N., RAMÍREZ, C., SÁNCHEZ, F. 2000. Actividad antioxidante de la pulpa de café y sus derivados. VI Jornadas Científico Técnicas Univ. Nac. Exp. Táchira, San Cristóbal, Táchira, Venezuela. Disponible en línea en <http://www.unet.edu.ve/~frey/varios/decinv/VIJCT/CIENCIAS%20RESUMENES.htm#C24>
- RODRÍGUEZ, N. 2010. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI: Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. *Cenicafé*, 10 p.
- RODRÍGUEZ, N. Y ZAMBRANO, D. 2010. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Centro Nacional de Investigaciones del café [Cenicafé] *Avances Técnicos*, 393. 7 p.
- ROJAS S. P., 2015. Evaluación De La Producción De Biogás Por Medio De La Biodigestión Anaerobia Semicontinua Utilizando Residuos Del Beneficiado Del Café Como Sustrato. Universidad De Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.

- ROMERO, A.C. 2019. Observatorio de Commodities: café, Dirección General de Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura y Riego (Perú). Boletín de publicación trimestral Abril Junio.
- ROSA, R. 2015. Producción de biogás en sustrato sólido mediante la digestión anaerobia de pulpa de café. Xalapa, México: Universidad Veracruzana. 105 p.
- SANCHEZ, H., REYES, C., MEJIA, K., 1998. Manual de Términos de en Investigación Científica, Tecnología y Humanista. Universidad Ricardo Palma, Vicerrectorado de Investigación. Primera Edición. Lima Perú.
- SANABRIA, J., SANCHEZ, A., RODAS, Y., 2018. Generación de Biogás Mediante el Proceso de Digestión Anaerobia a Partir de Aprovechamiento de Sustrato Orgánico (pastos y Aserrín). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Managua. Facultad Regional Multidisciplinaria de Esteli. Nicaragua.
- SOTO, M., MÉNDEZ, R., LEMA, J. 1993. Methanogenic and non-methanogenic activity tests. Theoretical basis and experimental set up. *Wat. Res*, 27(8), 1361–1376. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/223314284_Methanogenic_and_non-methanogenic_activity_tests._Theoretical_basis_and_experimental_set_up
- TORRES, P., RODRÍGUEZ, J. A., CAJIGAS, Á., & PÉREZ, A. 2002. La Actividad Metanogénica como herramienta para optimización del proceso anaerobio en el tratamiento de aguas residuales fácilmente acidificables. In XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (pp. 1–8). Cancún. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-132.pdf>
- VANATTA, L. E., SLINGSBY, R. W. 2003. Environmental Regulations and Technology Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge Control of Pathogens and Vector Attraction. EPA (Vol. 47). Cincinnati. doi:10.1016/S0015-1882(99)80035-4

- VARNERO M., CARÚ M., GALLEGUILLOS K. Y ACHONDO P. 2012. Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. *Información Tecnológica*, vol.23, no.2, pp. 31-40, Santiago de Chile, Chile.
- VÍQUEZ, J. 2010. Remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás. *ECAG Informa*, vol. 53, no.1, pp. 16-21, San José, Costa Rica.
- ZHOU, X., NANQI, R. 2007. Acid resistance of methanogenic bacteria in a two-stage anaerobic process treating high concentration methanol wastewater. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 1(1), 53–56. doi:10.1007/s11783-007-0010-8
- ZIEMINSKI, K., FRAC, M. 2012. Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4127–4139. doi:10.5897/AJBX11.054

ANEXOS

Apéndice 1. Cuadros

Anexo A. Parámetros de arranque y termino del reactor

Cuadro 16. Característica de pulpa e inocular

Parámetro	pulpa	inoculo
Peso fresco (gr)	1000	828.60
Peso seco (gr)	137.07	113.58
Contenido de agua (gr)	862.93	715.02
Solidos volátiles (gr)	106.46	88.21
Cenizas	30.62	25.37
Humedad (%)	86.29	98.77
Biomasa (%)	13.71	1.23
Carbono (%)	10.65	0.79
Cenizas (%)	3.06	0.43
Volumen fresco (ml)	2325.82	1000
Densidad (gr/ml)	0.43	0.83

Cuadro 17. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores testigo, solo con inoculo

	pH	ORP (mV)	Sal (%)	Cond (ms)	Sol dis (g/L)
Inoculo	3.56	156.3	68.3	35.3	17.6
inicial	3.61	153.2	41.5	21.42	10.71
inicial (estabilizado)	8.45	-117.60	38.90	20.07	10.04
Final	4.60	98.43	76.56	39.55	19.75

Cuadro 18. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 1

	pH	ORP (mV)	Sal (%)	Cond (ms)	Sol dis (g/L)
inicial	7.646	-69.77	69.84	36.1	18.07
Final	4.438	110.59	77.36	40.25	20.01
Biol	4.754	89.01	82.87	42.76	21.38
Biosol	7.4	-56.3	36.7	18.97	9.49

Cuadro 19. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 2

	pH	ORP (mV)	Sal (%)	Cond (ms)	Sol dis (g/L)
inicial	7.324	-51.24	98.5	50.97	25.49
Final	4.249	121.56	120.31	62.19	31.08
Biol	4.701	92.9	87.87	45.37	22.67
Biosol	8.63	-124.4	71.4	36.8	18.4

Cuadro 20. Variación de los parámetros de arranque y termino de los reactores del tratamiento 3

	pH	ORP (mV)	Sal (%)	Cond (ms)	Sol dis (g/L)
inicial	8.392	-113.61	148.08	76.24	38.25
Final	4.249	121.56	120.31	62.19	31.08
Biol	4.865	88.76	172.75	89.15	44.59
Biosol	8.28	-106.9	104.4	53.9	26.9

Anexo B. Potencia de generación de biogás y biometano

Cuadro 21. Generación de biogás del testigo

tiempo	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00318	0.0000
1	20.3	16	11	13	19	15.86	15.86	13.54	1.35444E-05	0.00318	0.0043
2	1	5	5	1	1	2.6	18.46	15.76	1.57648E-05	0.00318	0.0050
3	5	6	2	19	2	6.8	25.26	21.57	2.15719E-05	0.00318	0.0068
4	7	85	9.5	21.5	0	24.6	49.86	42.58	4.25802E-05	0.00318	0.0134
5	93	380	7.5	44	0	104.9	154.76	132.16	0.000132164	0.00318	0.0416
6	385	4	28	33.8	0	90.16	244.92	209.16	0.000209161	0.00318	0.0658
7	0	0	144	130	0	54.8	299.72	255.96	0.00025596	0.00318	0.0805
8	0	0	310	0	0	62	361.72	308.91	0.000308907	0.00318	0.0972
9	0	0	0	0	0	0	361.72	308.91	0.000308907	0.00318	0.0972
10	0	0	0	0	0	0	361.72	308.91	0.000308907	0.00318	0.0972

Cuadro 22. Generación de biometano testigo

tiempo	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00318	0.0000
1	0	7	4.5	3	4	3.7	3.7	3.16	3.15978E-06	0.00318	0.0010
2	0	17	7	0	26	10	13.7	11.70	1.16997E-05	0.00318	0.0037
3	0	36	19	49	0	20.8	34.5	29.46	2.94628E-05	0.00318	0.0093
4	0	96	50	0	102	49.6	84.1	71.82	7.1821E-05	0.00318	0.0226
5	0	256	347	342	289	246.8	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889
6	0	0	0	0	0	0	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889
7	0	0	0	0	0	0	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889
8	0	0	0	0	0	0	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889
9	0	0	0	0	0	0	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889
10	0	0	0	0	0	0	330.9	282.59	0.000282587	0.00318	0.0889

Cuadro 23. Generación de biogás del T1

tiempo	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.01915	0.0000
1	325	380	355	210	235	301	301	257.05	0.000257053	0.01915	0.0134
2	109	119	134	236	222	164	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
3	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
4	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
5	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
6	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
7	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
8	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
9	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207
10	0	0	0	0	0	0	465	397.11	0.000397108	0.01915	0.0207

Cuadro 24. Generación de biometano T1

tiempo	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.01915	0.0000
1	268	200	235	220	255	235.6	235.6	201.20	0.000201201	0.01915	0.0105
2	132	177	189	233	176	181.4	417	356.12	0.000356116	0.01915	0.0186
3	0	0	0	0	6	1.2	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
4	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
5	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
6	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
7	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
8	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
9	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187
10	0	0	0	0	0	0	418.2	357.14	0.000357141	0.01915	0.0187

Cuadro 25. Generación de biogás del T2

tiempo	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.03512	0.0000
1	727	660	700	620	640	669.4	669.4	571.66	0.000571665	0.03512	0.0163
2	119	166	157	166	80	137.6	807	689.17	0.000689174	0.03512	0.0196
3	0	0	6	0	0	1.2	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
4	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
5	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
6	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
7	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
8	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
9	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197
10	0	0	0	0	0	0	808.2	690.20	0.000690199	0.03512	0.0197

Cuadro 26. Generación de biometano T2

	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
tiempo	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.03512	0.0000
1	480	500	440	430	550	480	480	409.92	0.000409918	0.03512	0.0117
2	39	61	55	34	66	51	531	453.47	0.000453472	0.03512	0.0129
3	0	0	0	0	4	0.8	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
4	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
5	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
6	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
7	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
8	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
9	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129
10	0	0	0	0	0	0	531.8	454.15	0.000454155	0.03512	0.0129

Cuadro 27. Generación de biogás del T3

	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
tiempo	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.06705	0.0000
1	444	693	610	553	425	545	545	465.43	0.000465428	0.06705	0.0069
2	685	287	284	336	578	434	979	836.06	0.000836062	0.06705	0.0125
3	52	55	79	72	51	61.8	1040.8	888.84	0.000888839	0.06705	0.0133
4	0.1	0	6.5	2	0.2	1.76	1042.56	890.34	0.000890342	0.06705	0.0133
5	18	0.1	0	32	30	16.02	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135
6	0	0	0	0	0	0	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135
7	0	0	0	0	0	0	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135
8	0	0	0	0	0	0	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135
9	0	0	0	0	0	0	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135
10	0	0	0	0	0	0	1058.58	904.02	0.000904023	0.06705	0.0135

Cuadro 28. Generación de biometano T3

	valor diario					promedio	Acumulado	V normalizado (mL)	V normalizado (m ³)	SV (Kg)	PBM (m ³ CH ₄ /Kg SV)
tiempo	1	2	3	4	5						
0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.06705	0.0000
1	31	55	25	103	82	59.2	59.2	50.56	5.05565E-05	0.06705	0.0008
2	44	96	29	73	129	74.2	133.4	113.92	0.000113923	0.06705	0.0017
3	30	57	47	59	71	52.8	186.2	159.01	0.000159014	0.06705	0.0024
4	51	0	37	50	41	35.8	222	189.59	0.000189587	0.06705	0.0028
5	34	0	0	0.2	0	6.84	228.84	195.43	0.000195428	0.06705	0.0029
6	17	0	0	7	8	6.4	235.24	200.89	0.000200894	0.06705	0.0030
7	0	0	0	0	0	0	235.24	200.89	0.000200894	0.06705	0.0030
8	0	0	0	0	0	0	235.24	200.89	0.000200894	0.06705	0.0030
9	0	0	0	0	0	0	235.24	200.89	0.000200894	0.06705	0.0030
10	0	0	0	0	0	0	235.24	200.89	0.000200894	0.06705	0.0030

Anexo C. Análisis de la toxicidad

Cuadro 29. Toxicidad en la germinación

Muestra	semillas plantadas	semillas germinadas	Promedio (valor absoluto)	Porcentaje de Germinación Relativa (PGR)	Longitud (cm)										Promedio	Crecimiento Radícula Relativo (CRR)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Testigo	10	8	8	100	1.9	1.8	0.3	0.1	1.3	0.6	0.1	0.2	-	-	2	100.0
	10	8			3.1	2.5	0.8	2.5	1.6	0.5	0.9	0.4	-	-		
	10	9			4	3.3	3	2.2	3.7	3.9	3.2	4.9	3.8	-		
Biol T1	10	8	8	96	4.2	3.8	3.2	5.1	0.2	4.9	3.5	4.4		3	141.2	
	10	8			2	3.6	3.7	4	2.8	4.4	3.8	2.3				
	10	8			2.3	0.1	2.9	0.7	2.2	0.1	2.2	2.2				
Biosol T1	10	6	8	92	2	1.1	3.4	3.6	4.2	4				2	85.3	
	10	8			1.3	0.8	1.8	1.2	1.3	1.8	0.3	0.1				
	10	9			2.1	0.3	0.5	2.1	1	1.5	2.3	0.8	2.2			
Biol T2	10	7	7	84	2.8	2.8	2.7	4.4	3	4.3	4.2			3	154.3	
	10	8			3	4.5	2.6	4.5	2.2	2.5	3.8	2.6				
	10	6			2.9	3	2.2	2.4	1.6	3.6						
Biosol T2	10	6	8	96	0.1	0.5	0.2	0.3	0.1	0.2				1	58.5	
	10	9			2.9	0.1	1.8	3.5	5.3	0.1	0.2	4.6	2.1			
	10	9			1.1	1	0.7	0.9	0.2	0.7	0.6	0.3	0.9			
Biol T3	10	9	8	92	0.8	0.1	0.7	0.8	0.9	0.6	1.1	1.6	0.9	2	99.7	
	10	7			4	3.4	4.2	3.9	1.9	2.3	2.1					
	10	7			3.2	3.5	2	2.7	5.2	0.1	0.4					
Biosol T3	10	7	7	88	3.9	4.5	2.3	1.7	0.6	0.1	0.2	0.1		1	41.4	
	10	7			0.5	0.8	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1				
	10	8			1.1	0.1	0.2	0.5	1.1	0.4	0.3	0.4				

Cuadro 30. Análisis de la toxicidad en la biomasa

Muestra	Repetición	biomasa fresca(gr)	w placa	w final	w seco	biomasa (%)	promedio biomasa	Agua (%)	promedio agua
Testigo	1	0.3	109.205	109.234	0.029	9.67	14.11	90.33	85.89
	2	0.178	103.824	103.845	0.021	11.80		88.20	
	3	0.211	99.78	99.824	0.044	20.85		79.15	
Biol T1	1	0.226	104.823	104.845	0.022	9.73	6.88	90.27	93.12
	2	0.151	108.538	108.547	0.009	5.96		94.04	
	3	0.243	107.9	107.912	0.012	4.94		95.06	
Biosol T1	1	0.223	107.998	108.028	0.03	13.45	8.69	86.55	91.31
	2	0.2	107.626	107.648	0.022	11.00		89.00	
	3	0.185	108.07	108.073	0.003	1.62		98.38	
Biol T2	1	0.139	104.446	104.451	0.005	3.60	11.67	96.40	88.33
	2	0.2	109.841	109.869	0.028	14.00		86.00	
	3	0.178	109.597	109.628	0.031	17.42		82.58	
Biosol T2	1	0.155	101.958	101.994	0.036	23.23	32.11	76.77	67.89
	2	0.186	105.753	105.81	0.057	30.65		69.35	
	3	0.106	101.356	101.401	0.045	42.45		57.55	
Biol T3	1	0.196	102.222	102.258	0.036	18.37	24.40	81.63	75.60
	2	0.181	109.024	109.075	0.051	28.18		71.82	
	3	0.15	110.351	110.391	0.04	26.67		73.33	
Biosol T3	1	0.119	106.535	106.62	0.085	71.43	47.17	28.57	52.83
	2	0.116	106.859	106.9	0.041	35.34		64.66	
	3	0.118	107.855	107.896	0.041	34.75		65.25	

Apéndice 2. Panel Fotográfico



Figura 20. Pulpa de café para biodegradar



Figura 21. Acondicionamiento de la pulpa de café



Figura 22. Acondicionamiento de inculo



Figura 23. Acondicionamiento de reactores



Figura 24. Medida de la generación de biogás y biometano



Figura 25. Separación del biol y biosol



Figura 26. Secado de biosol



Figura 27. Acondicionamiento del test de germinación en placas



Figura 28. Aplicación de concentrados de biol y biosol a las placas

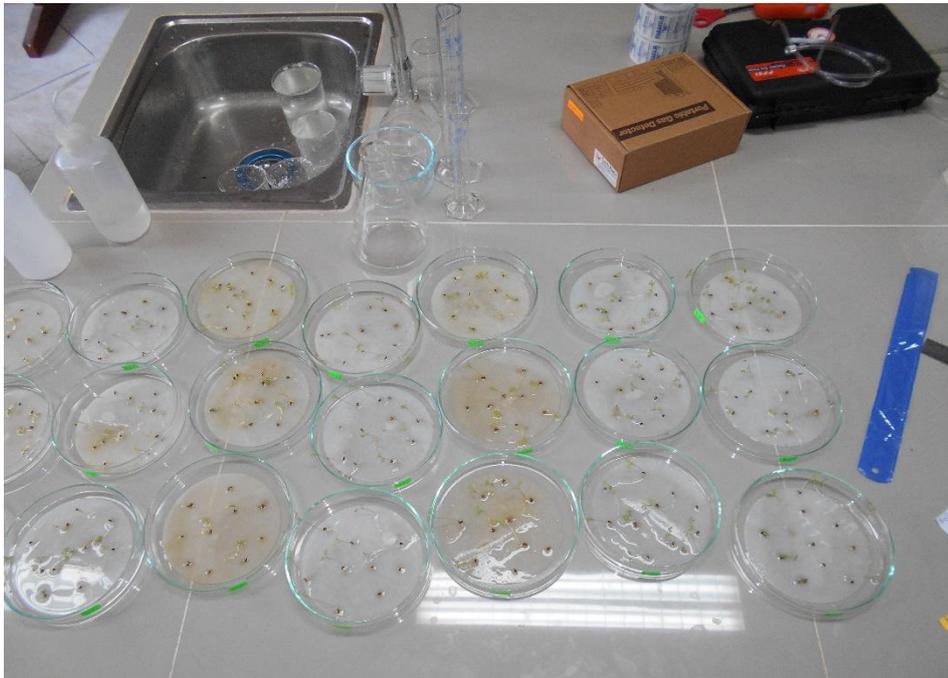


Figura 29. Germinación de plántulas en el test de germinación en placas