



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE
AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ”**

AUTORES:

ALCIVAR MOREIRA ANTONY DARIO
ROSE ROJAS KEVIN ALEJANDRO

TUTOR:

ING. SANDRA RONQUILLO CASTRO, MSC

COTUTORA:

ING. ROSA ALEXANDRA CÓRDOVA MOSQUERA, MSC

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

“INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE
AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ”

AUTORES:

ALCIVAR MOREIRA ANTONY DARIO
ROSERO ROJAS KEVIN ALEJANDRO

TUTORA:

I.Q. SANDRA RONQUILLO CASTRO, MSC.
COTUTORA:

I.Q. ALEXANDRA CORDOVA MOSQUERA, MSC.

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	"INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ"		
AUTOR(ES)	ALCIVAR MOREIRA ANTONY DARIO; ROSERO ROJAS KEVIN		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	TUTOR: RONQUILLO CASTRO SANDRA MIRELLA		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
UNIDAD/FACULTAD:	INGENIERÍA QUÍMICA		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:	TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO		
FECHA DE PUBLICACIÓN:		No. DE PÁGINAS:	79
ÁREAS TEMÁTICAS:			
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Digestión Anaerobia, Termofílico, Mesofílico, Metano, Agua Residual de Café, Inóculo		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El presente trabajo pretende evaluar la incidencia del incremento de la carga orgánica del sustrato de agua residual de café instantáneo en la digestión anaerobia. En las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí se estableció satisfactoriamente la combinación de parámetros como el DQO, pH, DLO, temperatura y TDS; que permitieron analizar el rendimiento de metano en la digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo tomadas de una industria local, como inóculo se utilizó estiércol bovino proveniente de un camal de la zona. Una vez obtenidas las muestras se las desplazó al laboratorio para su respectiva caracterización siguiendo la metodología descrita en el American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, para establecer las condiciones iniciales del sustrato. Para el proceso de digestión anaerobia se emplearon cuatro reactores de flujo ascendente (UASB) por duplicado en régimen termofílico y mesofílico. Se reportó que el pH oscila de 6 a 7; la variación del DQO está directamente relacionado con el tipo de grano de café utilizado dentro de la industria, El oxígeno disuelto fluctúa entre 0,98mg/L a 7,53ml/L y los taninos fueron evaluados por su acción recalcitrante, los valores obtenidos están dentro del rango de tolerancia de los microorganismos es decir por debajo de 600ml/L. En cuanto a la digestión anaerobia, se puede concluir que el régimen termofílico es más eficiente ya que tuvo una producción de metano superior al régimen mesofílico con un rendimiento de 53% de incremento de metano. Las variaciones de la carga orgánica están en función del DQO del agua residual, como consecuencia no es posible regular la carga orgánica de forma ascendente.			
ADJUNTO PDF:	SI	NO	
CONTACTO CON AUTOR(ES):	Teléfono: Alcivar Antony: 0991934443 Rosero Kevin: 0960673657	E-mail: anthony_alcivar0608@hotmail.com kevin.rosero94@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Teléfono: E-mail:		



Universidad de Guayaquil

ANEXO 11

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

Guayaquil, Febrero 28 de 2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado Revisor Ing. Carlos Muñoz C. con C.I: 0907081855, tutor revisor del trabajo de titulación **"INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ"**, certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado ALCIVAR MOREIRA ANTONY DARIO, con C.I. **0950011940** y ROSERO ROJAS KEVIN ALEJANDRO, con C.I. **0941881401**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO, en la Carrera/Facultad, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.


Ing. Carlos Muñoz Cagico
C.I: 0907081855

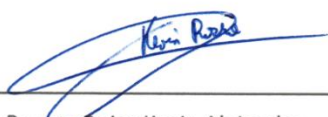
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL
USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

Nosotros, ALCIVAR MOREIRA ANTONY DARIO, con C.I. **0950011940** y ROSERO ROJAS KEVIN ALEJANDRO, con C.I. **0941881401**, certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **"INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ"** son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.



Alcívar Moreira Antony Dario
Con C.I: 0950011940



Rosero Rojas Kevin Alejandro
Con C.I: 0941881401

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.



FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

ANEXO 6

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrada Ing. Qco. Sandra Ronquillo Castro, Msc, tutora del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por Antony Dario Alcivar Moreira, C.C.: 0950011940 y Kevin Alejandro Rosero Rojas, C.I: 0941881401, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUIMICO.

Se informa que el trabajo de titulación: "INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ", ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa anti plagio URKUND, quedando el 1% de coincidencia.

<https://secure.orkund.com/view/34389331-267321-434465bq1bKLVayijYy1zE2iNVRKs5Mz8tMy0xOzEtOVbly0DMwMDM2NbUwNrA0Nte0NDzTKwFAA==>


Ing. Qco. Sandra Ronquillo Castro. Msc
C.I. 0910572866

Ing. Sandra Ronquillo C., Msc.
DOCENTE-GESTOR ACADÉMICO
F.I.Q.



Universidad de Guayaquil

ANEXO 4

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

Guayaquil, 23 de Enero del 2018

Sra. Sandra Peña

DIRECTORA DE LA CARRERA/ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación "INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ" del (los) estudiante (s) Antony Dario Alcivar Moreira y Kevin Alejandro Rosero Rojas, indicando que ha (n) cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que los estudiantes están aptos para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Ing. Qco. Sandra Ronquillo Castro Msc
C.I. 0910572866

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE TITULACIÓN

“INCREMENTO DEL RENDIMIENTO DE METANO EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CAFÉ”

Autores: Alcívar Moreira Antony Dario, Rosero Rojas Kevin Alejandro

Tutor(a): Ing. Sandra Ronquillo Castro, Msc

RESUMEN

El presente trabajo pretende evaluar la incidencia del incremento de la carga orgánica del sustrato de agua residual de café instantáneo en la digestión anaerobia. En las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí habiéndose establecido satisfactoriamente la combinación de parámetros como el DQO, pH, DLO, temperatura y TDS; que permitieron analizar el rendimiento de metano en la digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo tomadas de una industria local. Como inóculo se ha utilizado estiércol bovino proveniente de un camal de la zona. Una vez obtenidas las muestras se las ha desplazado al laboratorio para su respectiva caracterización siguiendo la metodología descrita en el American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, para establecer las condiciones iniciales del sustrato. Para el proceso de digestión anaerobia se han empleado cuatro reactores de flujo ascendente (UASB) por duplicado en régimen termofílico y mesofílico. Se ha reportado que el pH oscila de 6 a 7; la variación del DQO está directamente relacionado con el tipo de grano de café utilizado dentro de la industria, el oxígeno disuelto fluctúa entre 0,98mg/L a 7,53ml/L y los taninos fueron evaluados por su acción recalcitrante, los valores obtenidos están dentro del rango de tolerancia de los microorganismos, es decir por debajo de 600ml/L. En cuanto a la digestión anaerobia, se puede concluir que el régimen termofílico es más eficiente ya que tuvo una producción de metano superior al régimen mesofílico con un rendimiento de 53% de incremento de metano. Las variaciones de la carga orgánica están en función del DQO del agua residual, como consecuencia no es posible regular la carga orgánica de forma ascendente.

Palabras claves: Digestión Anaerobia, Termofílico, Mesofílico, Metano, Agua Residual de Café, Inóculo

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE TITULACIÓN

"INCREASE OF THE METHANE YIELD IN THE ANAEROBIC DIGESTION OF THE INSTANT COFFEE WASTEWATER"

Authors: Alcivar Moreira Antony Dario, Rosero Rojas Kevin Alejandro

Advisor: Ing. Sandra Ronquillo Castro, Msc

ABSTRACT

This investigation tries to evaluate the incidence of the increase of the organic load of the substrate of the instant coffee wastewater in the anaerobic digestion. In the facilities of the Technical University of Manabí, the combination of parameters such as oxygen chemical demand, pH, dissolved oxygen levels, temperature and total dissolved solids has been satisfactorily achieved; that allowed to analyze the methane yield in the anaerobic digestion of the instant coffee wastewater taken from a local industry, as inoculum has been used cattle manure from an area of the area. Once the samples have been moved to the laboratory for their respective characteristics following the methodology described in the Public Health Association of the United States, the American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, to establish the initial conditions of the substrate. For the anaerobic digestion process, four ascending flow reactors (UASB) have been used in duplicate in a thermophilic and mesophilic regime. It has been reported that the pH ranges from 6 to 7; The variation of the oxygen chemical demand is directly related to the type of coffee bean used in the industry, the dissolved oxygen fluctuates between 0.98mg / L to 7.53ml / L and the tannins were evaluated for their recalcitrant action, the values are within of the tolerance range of microorganisms is below to 600ml / L. Regarding anaerobic digestion, it can be concluded that the thermophilic regime is more efficient than it had a methane production higher than the mesophilic regime with a yield of 53% methane increase. The variations of the organic load are a function of the oxygen chemical demand of the wastewater, as a consequence it is not possible to regulate the organic load in an ascending way.

Keywords: Anaerobic Digestion, Thermophilic, Mesolithic, Methane, Coffee Wastewater, Inoculum

DEDICATORIA

Quiero dedicar esto a mis padres, sobre todo a mi madre Cecilia Moreira Salazar que siempre estuvo ahí apoyándome y dándome todo lo que podía para que yo lograra llegar al lugar en el que estoy ahora, a mis hermanos y a los profesores que fueron más que eso fueron amigos, gracias a todas esas personas por siempre darnos su apoyo y ayuda, y a la Universidad de Guayaquil por haberme permitido formar profesionalmente.

Antony Alcivar Moreira.

DEDICATORIA

A mis padres la Dra. Mery Rojas y el Sr. Héctor Rosero por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas, buenos principios y sobre todo con unión familiar; este logro se los dedico a uds y me comprometo a regalarles mayores satisfacciones... esto es sólo el principio

Kevin Rosero Rojas

AGRADECIMIENTO

A todas esas personas, docentes, compañeros y amigos que siempre supieron ayudar cuando uno más lo necesitaba, a los profesores a no rendirse cuando uno no entendía algo al pasar los años, esos profesores que fueron más que eso, fueron unos amigos que me apoyaron y aconsejaron.

A mi tutora de tesis la Ing. Sandra Ronquillo Castro, Msc y a mi cotutora la Ing. Alexandra Córdova Mosquera, Msc quienes impartieron sus conocimientos para la realización de este trabajo de investigación.

Antony Alcivar Moreira.

AGRADECIMIENTO

Tras culminar esta importante etapa de mi vida quiero agradecer a Dios por todas las Bendiciones que me ha dado en esta gran Cruzada de mi vida.

A mis padres y a mi hermano por todo el apoyo incondicional que cada día me han brindado, que siempre creyeron en mí.

A mis profesores por toda la enseñanza y por todos sus conocimientos día a día en las aulas.

A mi tutora Ing. Sandra Ronquillo Castro, Msc y mi cotutora la Ing. Alexandra Córdova Mosquera, Msc por el apoyo brindado en este proceso.

Kevin Rosero Rojas

ÍNDICE

CARATULA

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	I
CERTIFICACION DEL TUTOR REVISOR	II
LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS	III
CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD	IV
CERTIFICACION DE TUTORIAS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTO	X
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.	3
1.3.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.	3
1.3.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6 HIPÓTESIS	5

1.7	VARIABLE INDEPENDIENTE.	5
1.8	VARIABLE DEPENDIENTE.	5
1.9	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	6
2	CAPÍTULO II	7
2.1	MARCO DE REFERENCIA	7
2.1.1	ESTUDIO DEL CAFÉ	7
2.1.2	COMERCIO MUNDIAL DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ	7
2.1.3	COMERCIO REGIONAL DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ	8
2.1.4	CAFÉ SOLUBLE	10
2.1.5	MERCADO MUNDIAL DE CAFÉ SOLUBLE	11
2.1.6	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ SOLUBLE	12
2.1.7	EFLUENTES INDUSTRIALES	13
2.1.8	AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ SOLUBLE	14
2.1.9	PRODUCCIÓN MUNDIAL DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA DE CAFÉ SOLUBLE	15
2.1.10	PRODUCCIÓN NACIONAL DE AGUA RESIDUAL DE CAFÉ SOLUBLE	16
2.1.11	CONSECUENCIAS DEL VERTIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ SOLUBLE A LOS CUERPOS RECEPTORES	16
2.1.12	IMPACTO AMBIENTAL	17
2.2	MARCO TEÓRICO	18
2.2.1	INÓCULOS	18
2.2.2	DIGESTIÓN ANAEROBIA	18
2.2.3	TRATAMIENTO ANAEROBIO	20
2.2.4	DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA	20
2.2.5	ASPECTOS QUE INTERVIENEN EN LA OPERACIÓN DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS	24
2.2.6	TECNOLOGÍA DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO	25
2.2.7	SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO	26
3	CAPITULO III	29
3.1	MATERIALES USADOS	29
3.2	METODOLOGÍA EMPLEADA	29
3.2.1	PREPARACIÓN DEL INÓCULO	29
3.2.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	30

3.3	DIGESTIÓN Y PRODUCCIÓN DE METANO	31
3.4	INSTRUMENTACIÓN	32
3.5	ECUACIÓN DE LOS ANÁLISIS EXPERIMENTALES	33
3.5.1	ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA ORGÁNICA.	33
3.5.2	CÁLCULO DE LAS CARGAS ORGÁNICAS SEGÚN EL NÚMERO DE DÍAS DE ALIMENTACIÓN EN LOS REACTORES:	34
3.6	EFFECTOS DE PARÁMETROS FÍSICOS ANALIZADOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	40
3.6.1	EFFECTO DEL PH EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	40
3.6.2	EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	41
3.7	TANINOS	42
3.8	DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS	42
3.8.1	MATERIALES Y EQUIPOS	42
3.8.2	PROCEDIMIENTO	42
3.8.3	EXPRESION DE RESULTADOS	43
3.9	DETERMINACION DE PARÁMETROS QUÍMICOS	43
3.9.1	DQO	43
3.9.2	OXÍGENO DISUELTO	44
3.9.3	TANINOS	45
3.10	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO	46
3.11	FUNCIONAMIENTO:	47
3.12	ANALISIS DE RESULTADOS:	49
4	CAPITULO IV	52
4.1	CONCLUSIONES:	52
4.2	RECOMENDACIONES:	52
4.3	BIBLIOGRAFÍA	53
4.4	ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS Y HOJAS DE DATOS

Tabla 1. Operacionalización de las variables	6
Tabla 2. Superficie, producción y venta del café en Ecuador.....	9
Tabla 3. Producción de café en el Ecuador	10
Tabla 4. Mercado mundial de café soluble.....	11
Tabla 5. Mercado mundial de café soluble-consumidor.....	12
Tabla 6. Producción de agua residual procedente de café instantáneo a nivel mundial al año 2013.....	15
Tabla 7. Producción de café industrializado y aguas residuales en Ecuador durante los últimos 5 años....	16
Tabla 8. Reacciones bioquímicas en la digestión anaerobia de la materia orgánica	21
Tabla 9. Composición de gases del biogás.....	27
Tabla 10. Técnicas analíticas utilizadas	30
Tabla 11. Caracterización del agua residual de café instantáneo.....	33
Tabla 12. Desplazamiento de ml de metano del sistema Mariotte.....	34
Tabla 13. Carga orgánica vs desplazamiento de metano	38
Tabla 14. Carga orgánica vs desplazamiento de metano más efectivo	40
Tabla 15. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo mundial del café	8
Figura 2. Exportaciones ecuatorianas.....	10
Figura 3. Diagrama de proceso	13
Figura 4. Esquema general de la digestión anaerobia.....	19
Figura 5. Fases de la fermentación anaerobia	23
Figura 6. Desplazamiento de metano vs día de muestreo (reactor termofílico).....	36
Figura 7. Desplazamiento de metano vs día de muestreo (reactor mesofílico).....	36
Figura 8. DQO de agua residual de café instantáneo vs Día de muestreo	37
Figura 9. pH de agua residual de café instantáneo vs Día de muestreo	37
Figura 10. Taninos de agua residual de café instantáneo vs DQO de agua residual de café instantáneo ...	38
Figura 11. Carga orgánica vs ml de metano	39
Figura 12. Carga orgánica vs desplazamiento de metano más efectivo	40
Figura 13. Diagrama del equipo Biodigestor anaerobio	49
Figura 14. Fuente del inóculo	59
Figura 15. Obtención del inóculo.....	59
Figura 16. Preparación del potenciómetro	59
Figura 17. Obtención de a muestra de pH	59
Figura 18. Preparación del ácido para titulación	60
Figura 19. Medición del desplazamiento de metano	60
Figura 20. Bombas Peristálticas	60
Figura 21. Recolocación del Hidróxido	61
Figura 22. Digestor anaerobio.....	62

INTRODUCCIÓN

Durante varios siglos el mundo ha sido productor de café, en distintas presentaciones y distintos tipos, y a medida que las demandas aumentaban también lo hacía su producción, lo que generaba una contaminación debido a que para la preparación de todo proceso se usa el agua, y el proceso y producción de café no es una excepción, debido a esto se generaba una fuerte carga contaminante en sus efluentes, aumentando su acidez, y el DBO, lo cual genera que la producción de bacterias aumente considerablemente, logrando así desestabilizar el ecosistema intoxicando el hábitat animal y vegetal, lo cual genera un peligro para las personas que viven de eso, como casos ya existentes en el mundo por bacterias o pestes generadas por estos efluentes.

Con esta investigación se trata de lograr un mejor entendimiento a este tema tan delicado para poder lograr un tratamiento a estas aguas logrando la obtención de gas metano, para lograr un incremento del rendimiento de este gas en la digestión anaerobia de estas aguas para que así después de esto, futuras investigaciones logren usar este gas para generar energía, y así lograr una reutilización de las aguas residuales y mejorar eficientemente el rendimiento de toda producción del café y generar menos impacto ambiental.

1. CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en Ecuador tiene relevancia el sector cafetero por el aspecto económico, social y ecológico con el que éste cuenta. En el país se cultiva café de especie robusta y arábica, localizándose las zonas de producción del café arábigo en Manabí, Guayas, El Oro y Loja; y las provincias que mayormente producen café robusta son: Esmeralda, Sucumbíos, Napo, Pichincha, Orellana y Los Ríos. (COFENAC, 2011). La industria de café genera residuos orgánicos que difícilmente se pueden diluir, y que si no se tienen las condiciones adecuadas para su tratamiento provoca la contaminación de extensas fuentes de agua, superficiales y subterráneas, debido a esto se deben buscar la solución para la respectiva problemática dada en estas industrias.

El presente trabajo de investigación está enfocado en establecer la combinación de parámetros que permita el incremento del rendimiento de metano en la digestión anaerobia de las aguas residuales en el proceso de café.

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Es posible el incremento del rendimiento de metano en la digestión anaerobia?
- ¿Se puede tener una mejor digestión anaerobia en las aguas residuales de café mediante la combinación de parámetros?
- ¿Es rentable para la industria del café tener una digestión anaerobia con un alto grado de incremento del biogás como lo es el metano?
- ¿Se podrá determinar la influencia de la temperatura y la carga orgánica en la digestión anaerobia de estas aguas residuales?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

En la actualidad el cultivo y procesado del café es una de las actividades agroindustriales importantes del mundo, pero por otro lado esta actividad acarrea grandes impactos ambientales debido a la alta carga de contaminantes orgánicos en sus aguas residuales, existiendo una gama de autores anunciando el impacto negativo sobre el medio ambiente y la sociedad que generan los residuos de esta actividad agro industrial.

La implementación de una creciente en el rendimiento de metano en la digestión anaerobia pretende alcanzar varios objetivos siendo uno en particular: “una reducción de contaminación de los residuos que existen en este proceso agroindustrial y en sus aguas residuales”

1.3.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.

El biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás.

Cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO₂ y H₂O. Gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. Se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico. (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011)

En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo, alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son

utilizados con fines energéticos por la sociedad (biogás).
(MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011)

1.3.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.

La presente propuesta pretende dar a conocer los parámetros que pueden hacer incrementar el rendimiento del metano en el proceso de digestión anaerobia en las aguas residuales del proceso de café realizándose en un régimen discontinuo, para que de esta manera se pueda conseguir, mejorar el sistema de dicho proceso en esta industria de café, optimizando el sistema de digestión anaerobia en cuanto a los residuos contaminantes que puedan diluirse a lo largo de un cuerpo hídrico.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Establecer la combinación de parámetros que permita el incremento del rendimiento de metano en la digestión anaerobia de las aguas residuales del proceso de café en régimen discontinuo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización del agua residual del café instantáneo.
- Determinar la influencia de la carga orgánica y la temperatura en la digestión anaerobia de aguas residuales del proceso de café sin extracción de polifenoles, en régimen mesofílico y termofílico semicontinuo.
- Obtener la combinación de parámetros que permitan el mejor desempeño de la digestión anaerobia de aguas residuales del proceso de café instantáneo.

1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrollará en Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí en conjunto con el laboratorio de aguas residuales de la Universidad de Guayaquil, se realizará la experimentación mediante los análisis de DBO, DQO y medición del volumen de metano desplazado.

1.6 HIPÓTESIS

Mediante la aplicación de métodos biológicos se obtendrá el incremento del rendimiento de metano presente en el proceso de digestión anaerobia en régimen mesofílico y termofílico semicontinuo en las aguas residuales de café instantáneo.

1.7 VARIABLE INDEPENDIENTE.

Dentro de la variable independiente se puede citar los parámetros de temperatura, la carga orgánica, el DQO, el pH y los recalcitrantes (taninos) de las aguas residuales del proceso de café en régimen semicontinuo.

1.8 VARIABLE DEPENDIENTE.

- La variable dependiente es la digestión anaerobia y la producción de biogás o mililitros de metano.

1.9 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1. Operacionalización de las variables

VARIABLES	Tipo de variable	TEMAS	SUBTEMAS
DIGESTIÓN ANAEROBIA	DEPENDIENTE	• Criterios ambientales del producto	○ Producción del biogás
CARGA ORGÁNICA RECALCITRANTES	INDEPENDIENTE	• Demanda Química de oxígeno (DQO).	. Demanda Química de oxígeno ○ Medición del DQO

Elaborado por: A. Alcívar, K. Rosero 2018

2 CAPÍTULO II

2.1 MARCO DE REFERENCIA

2.1.1 ESTUDIO DEL CAFÉ

De acuerdo a las normas INEN, se lo define como un producto comestible, describiendo a los frutos de esta planta que pertenece al género COFEALINNAEUS, estos frutos dependiendo de su proceso son usado en algunas cosas principalmente como alimento. Se le llama café al líquido que se obtiene de las semillas y de los frutos de esta planta de cafeto o café. (INEN, 1978)

El café es uno de los granos con más comercialización internacional en el mercado, dando una gran cantidad de ganancias a los lugares donde se cultiva y se produce este grano. El café ha sido gran parte de la cultura y de la historia mundial, ya que desde hace más de un siglo ha ayudado a las zonas encargadas de este cultivo a progresar. (Cafe M. d., 2016)

2.1.2 COMERCIO MUNDIAL DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ

El café ocupa el segundo lugar de los productos más comercializados en el mundo, se calcula que los que trabajan y viven del cultivo de café son aproximadamente unos 125 millones de personas, de los cuales, 25 millones son productores pequeños. El consumo de café estimado en el mundo es de alrededor de 400 mil millones de tazas de este producto. (Correa, La industria del Cafe, 2013)

Brasil es uno de los mayores exportadores de café en el mundo, comercializando robusta y arábica, siendo la arábica la más exportada. Colombia le sigue en el puesto del país con mayor exportación de café, produciendo un café suave con mucho cuerpo; Costa Rica produce un café con mucho más aroma, Puerto Rico presenta un café con un intenso sabor. México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Venezuela, Bolivia y Perú son los países que también producen café, pero en menores cantidad. (Cortijo, 2008)

El año de 2014 el país tuvo un aumento de 2.3% en la tasa media de crecimiento, debido a que en ese año, el consumo mundial del café fue de 149.3 millones de sacos. Los países que más generaron una fuerte demanda de café fueron República de Corea, Turquía, Argelia y la Federación de Rusia, según los registros de los países exportadores esta demanda fue un 2.6% más alta de lo normal. Brasil en el año del 2014 fue uno de los principales consumidores de café entre todos los demás países exportadores con 20.8 millones de sacos, luego esta Indonesia (4.2 millones), Utopía (3.7 millones) y México (2.4 millones). (Cafe, 2015)

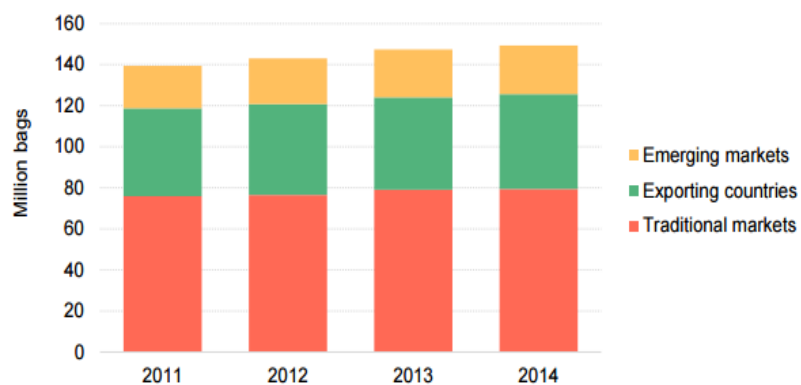


Figura 1: Consumo mundial del café

Fuente: informe del mercado del café.

2.1.3 COMERCIO REGIONAL DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ

El café en el Ecuador es sembrado en alrededor de 21 provincias lo cual hace que sea una de las mejores fuentes de trabajo agrícola en el país, produciéndose en el año de 2016 un total de 63% de café arábico y un 37% del café robusta. (El Productor, 2017)

Según El Consejo Cafetalero Nacional, COFENAC, el país generó ganancias de 107'439.110,74 dólares en el año del 2014 por comercialización de 641.208.07 sacos de café, siendo los principales países importadores Alemania (50.529.246.04 USD), Polonia (43.204.560,91 USD), Rusia (20.123.704,21 USD), Estados Unidos (17.212.463,96 USD) y Colombia (12.241.820,51 USD). (COFENAC, 2014)

Tabla 2. Superficie, producción y venta del café en Ecuador

SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y VENTA DE CAFÉ					
AÑO	PLANTADA	EN EDAD PRODUCTIVA	COSECHADA	PRODUCCIÓN	VENTA
2011	191,080	163,130	144,931	31,347	29,101
2012	122,856	110,474	98,347	23,829	20,191
2013	97,684	84,842	61,627	7,760	6,878
2014	70,269	54,158	35,525	4.293	3.994

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)

Elaboración: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, PROECUADOR

Cerca de 600000 es la cantidad de personas que dedican sus actividades laborales a la producción de café, pero desde el año 2014 ese número ha decrecido de manera constante, lo cual ha creado una inestabilidad económica a esas familias. (El Productor, 2016)

Las exportaciones que realiza el Ecuador son de acuerdo al tipo de café obtenido, que pueden ser arábica o robusta, también están en función del procesamiento de obtención de café instantáneo tales como: liofilización, molienda, tostado, al natural. La cantidad de quintales que fueron exportados del país fueron cerca de 1'900.000 quintales en el año 2000, y las divisas que se han obtenido a lo largo de 20 años de exportación fueron aproximadamente \$160'000.000. (DELGADO, 2002)

Tabla 3. Producción de café en el Ecuador

REGIÓN	PORCENTAJE DE CAFÉ EN EL ECUADOR
COSTA	60%
SIERRA	19,7%
ORIENTE	16,2%
INSULAR	6%

Fuente: PROECUADOR / El Comercio (2012)

Los derivados del café es lo que se exporta mayoritariamente en el Ecuador. Con un valor representativo de casi el 71%. (PRO ECUADOR, 2013).

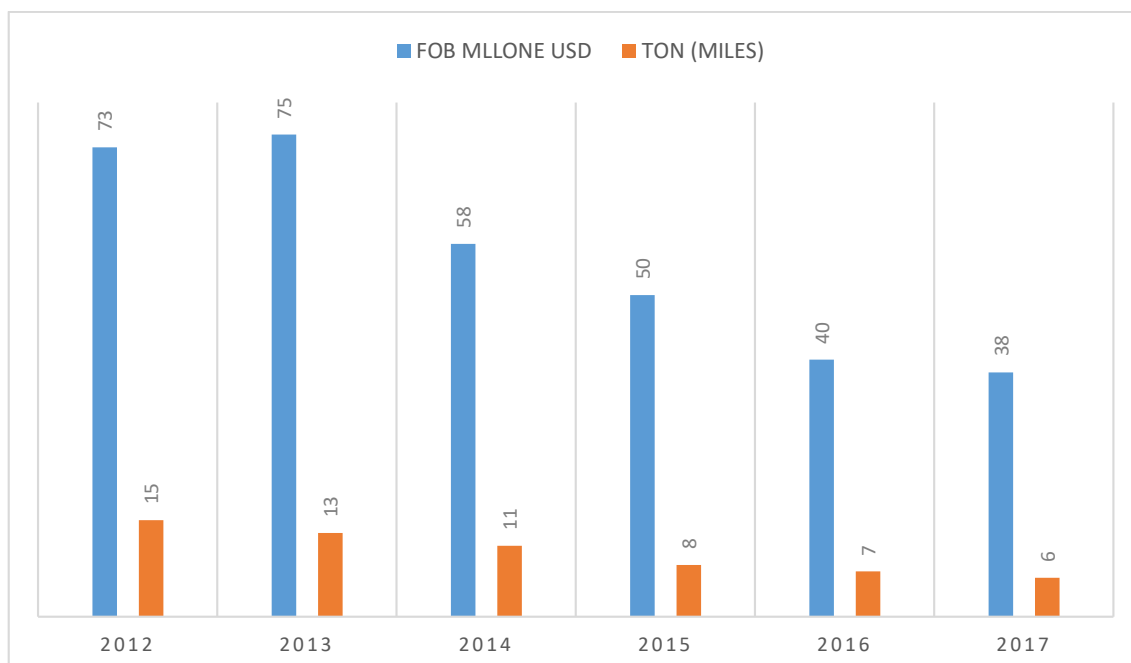


Figura 2. Exportaciones ecuatorianas

Ilustración 1CAFE

Fuente: (PRO ECUADOR, 2013)

2.1.4 CAFÉ SOLUBLE

George Constant Washington fue un químico británico que comenzó a investigar acerca de este café, al darse cuenta que en su cafetera cerca del pico, había un polvillo, su curiosidad despertó, y en 1906 realizó la primera producción de café soluble, y fue en 1909 cuando comenzó a poner en venta este tipo de café, a pesar de que no tenía el mejor

sabor, pero aun así tuvo una gran acogida, en especial para los soldados que batallaron en la primera guerra mundial. (Cafe de Colombia, 2016)

Debido a las ventajas que posee este café, alcanzo una gran expansión y un crecimiento exitoso. En la actualidad se calcula que cerca de un tercio del consumo mundial de café, es del tipo soluble. (JOSEP ROVIRA , 2011).

Para poder obtener café soluble se debe primero de realizar la tostación, molienda del grano y luego su extracción. Después de todos esos procesos, se realiza el secado, dando como resultado un polvo o granulado. (Cafe de Colombia, 2016)

2.1.5 MERCADO MUNDIAL DE CAFÉ SOLUBLE

Existen países que han logrado un crecimiento muy notable en la fabricación del café soluble. Colombia en 1990 realizaba cerca de 12000 toneladas de café soluble, pero en sus últimas campañas ha logrado incrementar este en número en cerca de 20000 toneladas de café soluble. (Rovira, 2014)

Brasil es el país que más se destaca en lo que respecta a las exportaciones del café soluble con un 50%. (Centro de Comercio Internacional, 2015)

Tabla 4. Mercado mundial de café soluble

PAÍS DE ORIGEN	SACOS DE 60 Kg
BRASIL	2800.000
MÉXICO	950.000
COLOMBIA	670.000
COSTA D'IVOIRE	390.000
OTROS	950.000
TOTAL	5'760.000

Fuente: (JOSEP ROVIRA , 2011)

Tabla 5. Mercado mundial de café soluble-consumidor

PAÍSES CONSUMIDORES	SACOS DE 60 Kg
COMUNIDAD EUROPEA	4300.000
USA	2080.000
JAPÓN	1950.000
SUIZA	220.000
AUSTRALIA	560.000
COREA DEL SUR	260.000
OTROS	430.000

Fuente: (Rovira, 2014)

2.1.6 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ SOLUBLE

En la elaboración de café soluble existen varias etapas que son las siguientes:

- Recepción de materia prima
- Limpieza del grano de café
- Tostado del café en grano
- Molienda del café tostado
- Extracción de los sólidos solubles del café tostado y molido
- Separación de sólidos suspendidos en el extracto
- Concentración del extracto clarificado
- Secado del extracto de café concentrado
- Envasado del café soluble. (Galindo Veliz, 2011)

En el proceso para la obtención de café soluble se pueden emplear dos tipos de procesos que son:

- El secado por aspersión, también llamado sistema spray dry o deshidratado
- Sistema freeze dry o liofilización.

Existiendo en ambos casos el tueste a temperaturas entre 190°C y 210°C, para luego ser molido y solubilizado en agua caliente, el líquido que se produce en el proceso se centrifuga y se seca. Mediante aire caliente se efectúa el secado por aspersión, mientras

que la liofilización se realiza a través de congelación brusca a bajas temperaturas.
(MUÑOZ, 2011)

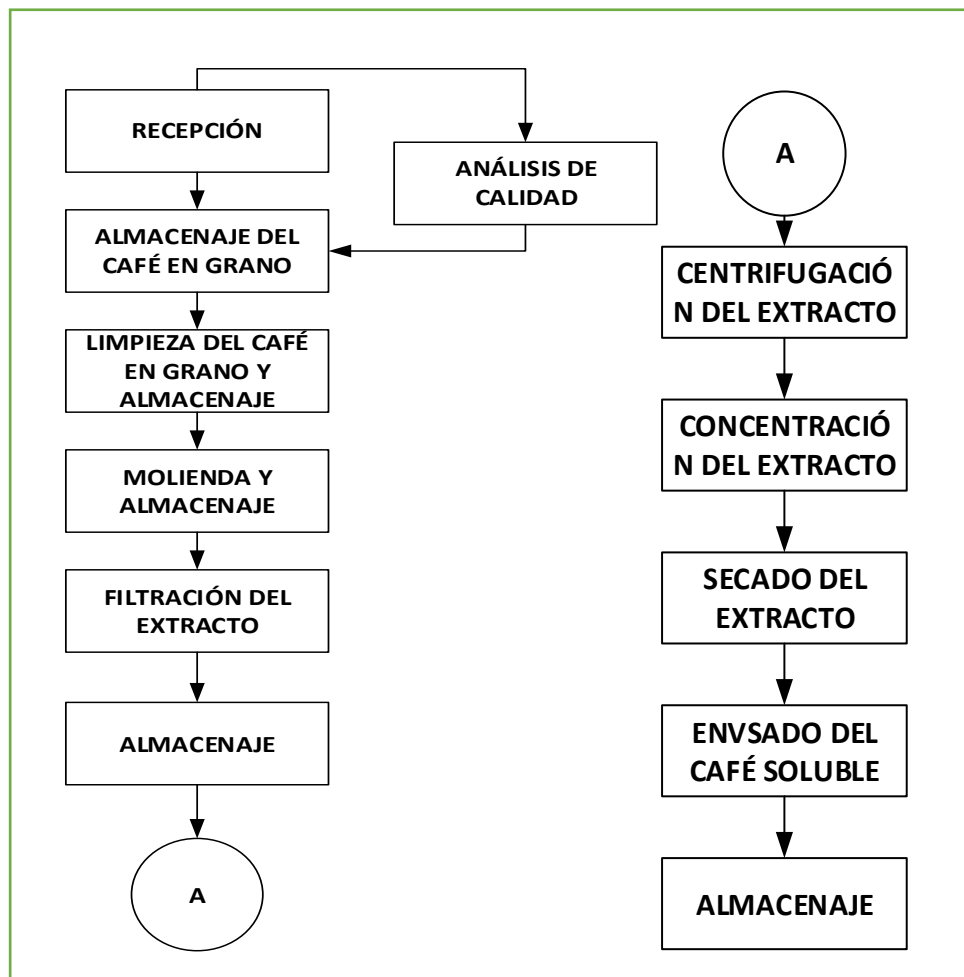


Figura 3. Diagrama de proceso

Fuente: (JEFFERSON ENCALADA URGILEZ, 2016)

2.1.7 EFLUENTES INDUSTRIALES

La producción del tipo de agua residual varía de acuerdo al tipo de industria, y el proceso que se lleve a cabo ahí. El material más utilizado en todas las empresas es el agua, ya sea para enfriamiento, para producir algo o para lavar. Durante todos estos procesos el agua se va llenando de contaminantes propios de cada industria. (Moreno, 2013)

Estas aguas poseen cargas de sustancias disueltas y en suspensión. Llevan sustancias que pueden llegar a ser biodegradable como no biodegradables, así como también elementos

inorgánicos (ya sean fosfatos, sales de amoníaco, entre otras); también pueden llegar a poseer elementos tóxicos. (Ingeniero Ambiental, 2015)

Antes de descargar estas aguas residuales a los cuerpos receptoras, estas cumplen uno o dos criterios; calidades de las aguas superficiales o normas de limitación de vertidos. (Ramalho, 2013)

Las normas de calidad dependen de los usos del agua; algunas de estas incluyen:

- Concentración de oxígeno disuelto, OD (mg/l)
- Demanda biológica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrogeno (ph)
- Color
- Turbidez
- Dureza
- Solidos disueltos totales (STD, mg/l)
- Sólidos en suspensión (SS, mg/l)
- Concentración de productos tóxicos
- Olor
- Temperatura

2.1.8 AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ SOLUBLE

Las compañías cafeteras siempre deben de trabajar lavando la materia prima, después viene la cocción y los procesos subsecuentes hasta obtener el producto final. Debido a eso el agua residual presenta cargas orgánicas muy elevadas, por eso antes de enviar esa agua al alcantarillado público debe de pasar por tratamientos para cumplir con las normativas de descarga. (M, 2016)

El principal objetivo del tratamiento es la reducción de la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno, los cuales son los indicadores más importantes que reportan el grado de contaminación del agua. (Hidritec, 2016)

El efluente de café tiene mucha acidez y contiene un elevado contenido de materia orgánica disuelta. Debido a riqueza en azúcares y pectinas, las aguas residuales del café son susceptibles a una biodegradación muy veloz. En los actuales estudios se determinó que en el procesamiento de descarga es hasta 50 kg DQO por tonelada de fruta procesada. (M.C.E., 2016)

2.1.9 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA DE CAFÉ SOLUBLE

Según datos de (Rovira, 2014) en el planeta se producen 5760000 kg de sacos de 60 kg. Haciendo los cálculos respectivos la cantidad en kg de producción serían 3456000.000 de café soluble industrializado. Relacionando esta información con la otorgada por (Salazar, 2012), quien indica que se generan aproximadamente entre 40 a 45 ltrs de agua residual por cada kg de café soluble procesado se reporta la siguiente tabla.

Tabla 6. Producción de agua residual procedente de café instantáneo a nivel mundial al año 2013

PAÍS	SACOS DE 60 kg	Kg PRODUCIDOS	PRODUCCIÓN DE AGUA RESIDUAL (m3)
BRASIL	2800000	168000000	1784160
MEXICO	950000	40200000	426924
COLOMBIA	670000	40200000	426924
COSTA DE MARFIL	390000	23400000	248508
OTROS	950000	57000000	605340
TOTAL	5760000	345600000	3670272

Fuente: ROVIRA. El café soluble 2013

2.1.10 PRODUCCIÓN NACIONAL DE AGUA RESIDUAL DE CAFÉ SOLUBLE

Aproximadamente un 90% de la producción de café es dirigido a Europa y Norteamérica, Japón y Alemania destacan siendo los países que más compran el café industrializado mientras que estados unidos es el mayor comprador del café en granos, y el 10% restante de la producción es de consumo del país. (LOPEZ, DOMINGUEZ Y ZURITA, 2000)

Ecuador produjo en el año del 2017 una cantidad de 513936,81 sacos de café industrializado. (Rodríguez, 2000) reporto el cálculo de la producción del agua residual generada en la industria de café soluble indicado que por cada kg de café procesado se obtiene entre 40 a 45 ltrs de agua residual, de tal manera que el volumen estimado de agua residual generado en este año se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Producción de café industrializado y aguas residuales en ecuador durante los últimos 5 años

2013	1060447,35	63626841	2863207845	2863207,845
2014	980578,74	58834724,4	2647562598	2647562,598
2015	764267,9	45856074	2063523330	2063523,33
2016	836804,37	50208262,2	2259371799	2259371,799
2017	513936,81	30836208,6	1387629387	1387629,387
			Total=	32375034,21

FUENTE: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

2.1.11 CONSECUENCIAS DEL VERTIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ SOLUBLE A LOS CUERPOS RECEPTORES

Este tipo de agua residual posee un nivel de materia orgánica demasiadas elevadas, y cuando se vierten en el alcantarillado o efluentes naturales, trae graves repercusiones como pueden ser:

- El DBO del agua aumenta a causa de la gran cantidad de microorganismos que residen en esta.
- Se produce una acidificación en el cuerpo de agua receptor, afectando así el agua y provocando daños.
- Por el cambio en el pH, se ve también afectado la flora y la fauna acuática.

- Como existe mucha materia orgánica, se produce un incremento de sólidos en suspensión.
 - Vuelve inservible el agua tanto para consumo humano como para consumo animal.
- (Rovira, 2014)

2.1.12 IMPACTO AMBIENTAL

En lo que respecta a continente de Latinoamérica, las aguas residuales de la industria de café son una de los principales contaminantes, debido a que tiene una carga muy elevada de materia orgánica, casi 200 veces más contaminante que las aguas residuales domésticas. (N, 2013)

A causa de la carga orgánica elevada que poseen estas aguas residuales, al unirse con el cuerpo receptor hace que existan más bacterias, dichas bacterias se alimentan del oxígeno y este al acabarse, produce que las bacterias se alimenten de los sulfatos y de los nitratos presentes en el efluente, lo cual hace que esto se degrade a bisulfuro de hidrogeno, gas responsable del olor pestilente de estas aguas. (ANACAFÉ, LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ)

Los cuerpos receptores se ven seriamente afectados al mezclarse con estas aguas residuales produciendo que el pH se eleve lo cual inhabilita el agua, y también produce una turbidez en esto a causa de los sólidos suspendidos. (ANACAFÉ, LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ)

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 INÓCULOS

Cuando se vaya a trabajar con un inóculo en temperaturas tanto termofílico como mesofílico, debe de ser lo más fresco posible y de una materia prima similar a lo que se ha de investigar. (Rio, 2014)

El tiempo de biodegradación del sustrato es variable, puede efectuarse a partir del quinto al séptimo día que este proceso ocurra y se produzca el biogás. (Rio, 2014)

La concentración baja o alta del inóculo dependerá de la actividad metanogénica que tenga la digestión anaerobia, si esta actividad es baja la concentración del inóculo seria alta. (Rio, 2014)

Uno de los inóculos que pueden usarse para garantizar una digestión anaerobia es el rumen de vaca, ya que este posee una gran actividad metanogénica y el tiempo para que suceda el proceso es rápido en comparación a los otros tipos de inóculos, pero también como posee bastantes ácidos grasos, hay que estar alimentándolo la carga orgánica, pero aun así este tipo de inóculo es el que mejor resultados da y por eso es el más utilizado. (Ricardo Camacho, 2017)

2.2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico, el cual se efectúa en ausencia de oxígeno, donde es transformada la materia orgánica a biomasa y compuestos orgánicos. (Lorenzo Yaniris, 2005)

A diferencia de otras alternativas solo este proceso ha llegado a ser una tecnología competitiva, como resultado se obtiene lodo, debido a sus propiedades son muy utilizados como biabonos y un gas combustible, denominado biogas (compuesto por metano 50 a 70% y dióxido de carbono 30 a 50%). (Lorenzo Yaniris, 2005)

Se emplean reactores cerrados (digestores) en donde se controlan los parámetros que ayudan en este proceso de fermentación anaeróbica. (Lorenzo Yaniris, 2005)

Uno de los campos en la cual la digestión anaerobia es bastante utilizada es en la depuración de lodos obtenidos en la depuración aerobia de aguas residuales, y sobre todo se usa para tratar el tratamiento de residuos ganaderos. (Rio, 2014)

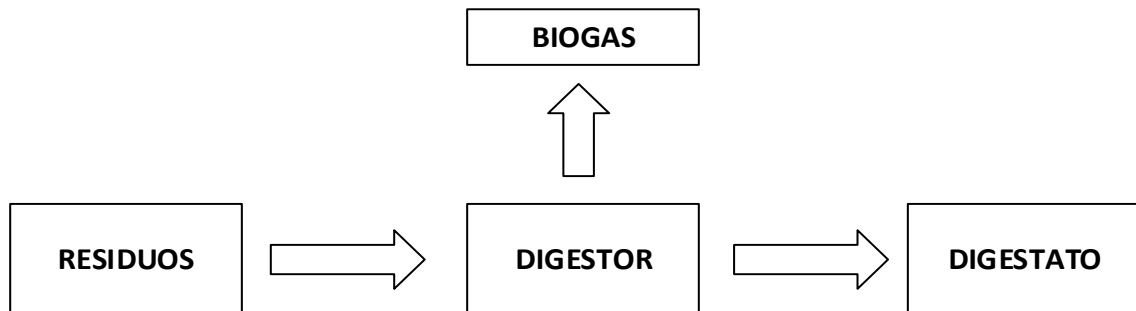


Figura 4. Esquema general de la digestión anaerobia

Fuente: (CABRERA, 2014)

2.2.2.1 VENTAJAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

- La remoción del agua residual es una cantidad aproximada entre 60-80% de materia orgánica.
- Los costos son bajos de inversión, debido a que los tiempos de retención son cortos y es alta la carga orgánica en el reactor.
- En el agua residual gran parte el material orgánico se convierte en biogás, con el fin de la obtención de energía, misma que puede abastecer la planta de producción de biogás.
- El consumo de energía es muy bajo en el tratamiento anaerobio. (Morgan, Morgan, & Noyola, 2001)

2.2.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO

Los tratamientos anaerobios es una opción de depuración biológica de aguas residuales.

Según (Lorenzo Yaniris, 2005) en los tratamientos anaerobios más del 90% de la energía es transformada en metano y un 10% de la energía se consume en el crecimiento bacteriano y un 50% es consumido por el proceso aerobio.

Los procesos de fermentación anaeróbica, disminuyen la carga contaminante en las aguas residuales como son: DBO₅, DQO, sustancias orgánicas, etc. (Lorenzo Yaniris, 2005)

(NUÑEZ, 2013) Expresa que la conversión de la materia orgánica en distintas sustancias químicas en el transcurso de la fermentación anaerobia se procesa mediante una cadena de sucesivas alteraciones a causa de los distintos tipos de bacterias, clasificadas como degradadoras de celulosa, degradadoras de almidón, degradadoras de lactano y otros ácidos orgánicos, degradadoras de pectina y productoras de metano.

2.2.4 DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA

En la degradación anaerobia de la materia orgánica contiene tres grupos tróficos y cuatro etapas de transformación.

1. Grupo I: Hidrólisis: bacterias hidrolíticas

En este proceso se realiza la hidrolización de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de las enzimas extracelulares, producidas por este primer grupo de bacterias, obteniéndose productos de bajo peso molecular como son los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes. (Díaz Báez, Francisco, & Espitia, 2002)

2. Grupo I: Acidogénesis: bacterias fermentativas

Subsiguientemente son fermentados a ácidos grasos de bajo número de carbonos como el ácido acético, fórmico, proprónico, butírico y compuestos reducidos como el etanol, hidrogeno molecular y dióxido de carbono. (Díaz Báez, Francisco, & Espitia, 2002)

3. Grupo II: Acetogénesis: bacterias acetogénicas

Después de la fermentación los productos de esta son convertidos en acetato, hidrogeno y dióxido de carbono. (Díaz Báez, Francisco, & Espitia, 2002)

4. Grupo III: Metanogénesis: bacterias metanogénicas

Finalmente en este último grupo el acetato se convierte en metano y dióxido de carbono, el dióxido de carbono se reduce a metano. (Díaz Báez, Francisco, & Espitia, 2002)

Tabla 8. Reacciones bioquímicas en la digestión anaerobia de la materia orgánica

TIPO DE REACCIÓN	ECUACIÓN
Fermentación de glucosa a acetato	$\text{Glucosa} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$
Fermentación de glucosa a butirato	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Fermentación del butirato a acetato e H_2	$\text{Butirato} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Fermentación del propionato a acetato	$\text{Propionato} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Acetogénesis a partir de H_2 y CO_2	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del CO_2 e H_2	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del acetato	$\text{Acetato} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$

Fuente: (RODRIGUEZ, 2014)

2.2.4.1 ETAPA HIDROLÍTICAS

Las bacterias que operan en las reacciones de hidrólisis y acidogénesis son anaerobias facultativas y frecuentemente los géneros que participan son los miembros de la familia Enterobacteriaceae, además los géneros Bacillus, Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides, Micrococcus y Clostridium. Las bacterias con actividad proteolítica son en su mayoría especies de los géneros Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium y Staphylococcus, las bacterias como Anaerovibrio lipolytica con actividad lipolítica han sido aisladas del rumen; igualmente la Butyrovibrio fibrisolvens

hidroliza fosfolípidos cuando crece con azúcares fermentables como fuente de carbono. (RODRIGUEZ, 2014)

En esta etapa los compuestos orgánicos complejos se degradan a lípidos, proteínas, hidratos de carbono y compuestos inorgánicos, estos por acción de la enzima hidrolítica se degradan a moléculas más simples como ácidos grasos, aminoácidos, monosacáridos y compuestos orgánicos. (Lorenzo Yaniris, 2005)

2.2.4.2 ETAPA ACIDOGÉNICA

(Lorenzo Yaniris, 2005) dice que en la transformación de los compuestos que se forman en la etapa hidrolítica en otros compuestos de peso molecular intermedio, tales como hidrogeno, dióxido de carbono, ácidos y alcoholes alifáticos, sulfhídrico y amoníaco. Esta etapa lleva el nombre de acidogénesis y es controlada por bacterias.

2.2.4.3 ETAPA ACETOGENICA

En esta etapa los productos que provienen de la acidogénesis por acción de las bacterias se transforman en ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono

Para que tenga lugar una eficiente metanogénesis, los productos de fermentación como el propionato y el butirato deben ser oxidados a acetato, CO_2 y H_2 , esta oxidación es llevada a cabo por un grupo denominado “organismos acetógenos productores obligados de hidrógeno (OHPA)”, mediante un proceso conocido como acetogénesis. (Lorenzo Yaniris, 2005)

Aunque la mayoría de este tipo de reacciones consume energía, en ambientes anaerobios donde la energía disponible es baja, el acoplamiento de la actividad de las bacterias OHPA con las bacterias consumidoras de H_2 (metanógenos hidrogenofilicos) permite un balance energético favorable (RODRIGUEZ, 2014)

2.2.4.4 ETAPA METANOGENICA

Las que se encargan de seguir eliminando los productos obtenidos en los procesos anteriores y formando el CH_4 son las arqueas metanogénica. Estas se dividen en dos grupos, las que se encargan de consumir el H_2 , CO_2 y el ácido fórmico son las arqueas hidrogenotróficas, mientras que las que consumen el metanol, acetato y alguna metilaminas son las arqueas acetoclásticas. (Rio, 2014)

Las cuatro etapas que se llevan a cabo en el proceso de digestión anaerobio son representadas en el siguiente diagrama.

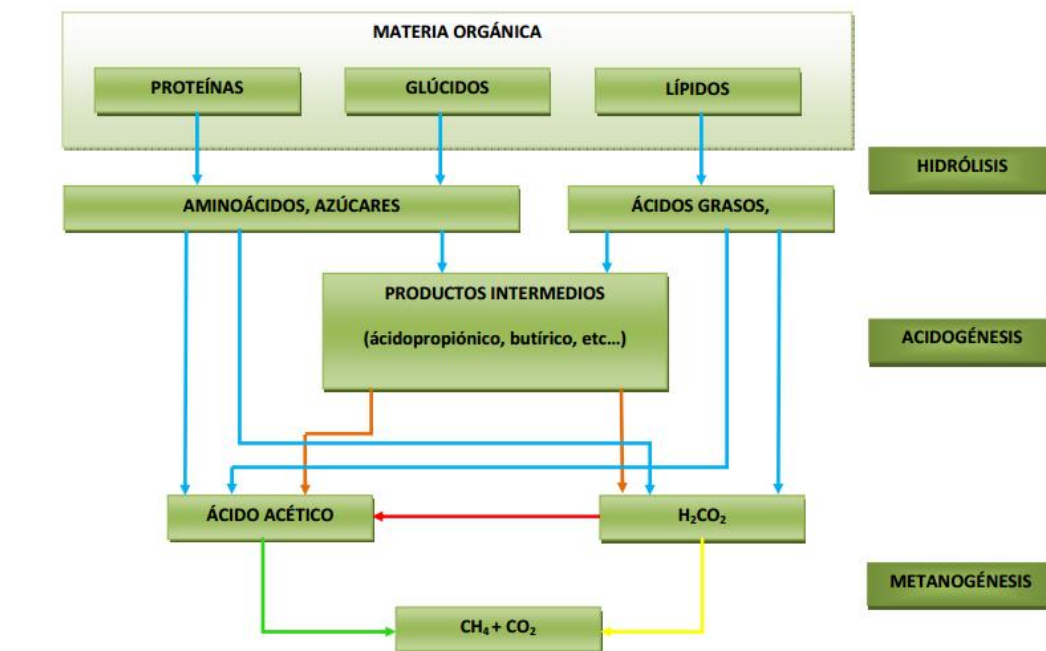


Figura 5. Fases de la fermentación anaerobia

- Bacterias hidrolítica Acidogénica
- Bacterias
- Bacterias homo
- Bacterias metanogénicas
- Bacterias

Fuente: (CABRERA, 2014)

2.2.5 ASPECTOS QUE INTERVIENEN EN LA OPERACIÓN DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS

Entre los aspectos que intervienen en la operación de los procesos anaerobios son:

- El pH, cuyo rango tolerable de trabajo se encuentra entre 6.5 a 7.5, siendo este un medio apto para las arqueas metanogénicas.
- La relación Carbono-Nitrógeno (C/N), pues la calidad y cantidad del biogás producido dependerá de la composición del desecho utilizado. El Carbono y el Nitrógeno son fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano, debe ser aproximadamente la relación de estos elementos en la materia prima entre un 30 de C/N.
- Nivel de carga, se calcula como la materia seca total (MS) o materia orgánica que es cargada diariamente por metro cúbico de volumen de digestor. Según los requerimientos operacionales el contenido de MS no debe exceder el 10% en la mayoría de los casos.
- Temperatura, se considera uno de los parámetros más importantes, dado que la misma establece el tiempo de retención, el tamaño del digestor, la producción de biogás y determina los niveles de reacción química y biológica (Groppelli, Giampaoli). El proceso se lleva a cabo satisfactoriamente en 2 rangos bien definidos, entre 10°C a 37°C, para la flora de bacterias mesofilicas, y entre 55°C a 60 °C para el rango termofílico. Para que las bacterias trabajen en forma óptima, se requiere mantener la temperatura lo más constante posible (MARJORIE MARQUEZ, 2011)

2.2.6 TECNOLOGÍA DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO

2.2.6.1 FILTROS ANAEROBIOS

El filtro anaerobio se trata de un reactor de flujo ascendente o descendente, con relleno plástico o piedras con un diámetro promedio de 3 a 5 cm. (Ramalho, 2013)

Con la ayuda del material de soporte, hace que exista un incremento considerable en el tiempo de retención celular (TRC) y esto es lo que hace posible que el sistema opere con menores tiempos de retención hidráulicos (TRH) disminuyendo así el volumen de reactor, sin necesidad de sacrificar la estabilidad del proceso y la eficiencia del sistema. (Ramalho, 2013)

Es un reactor empacado de flujo ascendente, es una manera en la cual, en la superficie del empaque, se adhieren las bacterias encargadas de este proceso, lo que permite que tengan mayor contacto con la materia que se encuentra en el reactor, esto permite disminuir el tiempo de residencia hidráulica de las aguas al crear una retención de la biomasa prolongada, maximizando su reacción. (Sanchez, 1996)

2.2.6.2 REACTORES UASB

Los reactores UASB (reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) son una alternativa aceptable para el tratamiento de aguas residuales de fuentes orgánicas líquidos. (BIOTHANE, 2013)

Este reactor utiliza bacterias anaerobias, mismas que crecen en un medio granular permitiendo eliminar el DQO para esta forma transformarla en biogás (metano + dióxido de carbono). (BIOTHANE, 2013)

Entre su característica principal del reactor UASB, es que forma un manto de lodo granular o floculento con una excelente capacidad de sedimentación donde se lleva a cabo la acción biológica. Este reactor opera con un aproximado de cargas orgánicas entre 1 y

2 kgDQO/m³d, con eficiencias de remoción de hasta 85 %, a temperatura ambiente. (RAQUEL G. G., 2004)

El uso de reactores de segunda generación (UASB) para el tratamiento de estos residuos se justifica por los grandes volúmenes de residuales generados, las cargas orgánicas superiores a los 1000 mg DQO/ L y la necesidad de obtener mayores valores de remoción de la contaminación. (RAQUEL G. G., 2004)

2.2.6.3 VENTAJAS DE REACTORES UASB

- El uso de los reactores UASB poseen numerosas ventajas entre las que se puede citar las siguientes: (ROSA BERMUDEZ, 2015)
- Reducida producción de lodos excedentes
- Bajo consumo de energía eléctrica
- Simplicidad del funcionamiento
- Bajo costos de inversión
- Alta producción de metano
- Bajos requerimientos nutricionales.
- El proceso puede manejarse con altas cargas intermitentes.
- Identificación y medición de productos intermedios que proporcionan parámetros de control adicionales.
- El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.

2.2.7 SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO

2.2.7.1 BIOGAS

El biogás es un subproducto del tratamiento anaeróbico, compuesto por gases como el metano, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, pero también se

encuentran otros gases en menor proporción como sulfuro de hidrogeno, vapor de agua, amoniaco, entre otros. (Silva, 2002)

La composición del biogás se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 9. Composición de gases del biogás

COMPONENTES	% VOLUMENES
Metano	55-65
Dióxido de carbono	34-45
Nitrógeno	0-3
Hidrogeno	0-1
Sulfuro de hidrogeno	0-1

Fuente: (Denisse Andrea Balseca de la Cadena, 2011)

2.2.7.2 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La fermentación sin oxígeno de residuos alimenticios o vegetales desprende un gas formado de metano y dióxido de carbono que llamamos biogás. Por lo general, el biogás producido contiene entre 55 y 65% de metano. (Silva, 2002)

Este proceso está controlado para evitar emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, pero también para explotar el biogás producido, que es una fuente de energía. (Silva, 2002)

Los residuos son sin lugar a dudas el sector preponderante en la producción de biogás que está destinado a alimentar las turbinas eléctricas o como carburante para vehículos. (Silva, 2002)

El biogás producido por la metanización se puede valorar de formas diferentes:

- Por la producción conjunta de calor y de electricidad llamada cogeneración,
- Por la producción de calor que será consumida a proximidad del lugar de producción,
- Por la inyección en las redes de gas natural tras una etapa de depuración,

- Por la transformación del biogás en carburante bajo forma de gas natural para vehículo. (RODRIGUEZ SUYEN, 2003)

Estas herramientas contribuyen a la degradación de las materias orgánicas muertas y a su transformación en elementos simples gaseosos y minerales. Los lugares en los que se desarrolla la fermentación se denominan fermentadores, el cual se trata de depósitos cubiertos por una tapa debajo en los cuales se acumula el biogás que se sustrae a medida que es producido y son tratados por un proceso natural bajo la acción de las bacterias. (RODRIGUEZ SUYEN, 2003)

2.2.7.3 EFICIENCIA DE TRATAMIENTO NECESARIA.

(MARJORIE MARQUEZ, 2011) Nos indica que los procesos anaerobios son idóneos para convertir eficazmente altas concentraciones de DQO a metano con una producción de biomasa mínima.

Con valores de TRS mayores de 20 a 50 d, la conversión máxima se dará a temperatura mayor de 25°C. Sin embargo, se tendrá una alta concentración de sólidos suspendidos en el efluente (50 a 200 mg/L), por lo que requerirá un tratamiento posterior de pulimento como ya se mencionó. (MARJORIE MARQUEZ, 2011)

3 CAPITULO III

El siguiente trabajo de investigación de campo, es de tipo experimental con carácter descriptivo, el cual se basó en la información obtenida durante las observaciones establecidas, donde se manipularon las condiciones del fenómeno a estudiarlo, al mismo que se lo caracterizará, demostrará su dinámica y sus aspectos importantes.

Se realizó en el laboratorio de Química General del Instituto de Ciencias Básicas (ICB), de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), la experimentación consistió en la preparación del inóculo, la caracterización del sustrato, la digestión y la medición del metano obtenido, durante un periodo de tiempo de cincuenta y nueve días.

3.1 MATERIALES USADOS

En la realización de la experimentación se utilizaron las aguas residuales de una fábrica de café instantáneo de la Provincia de Manabí, a igual forma que el estiércol bovino empleado para el inóculo se lo extrajo de un camal de la zona.

3.2 METODOLOGÍA EMPLEADA

3.2.1 PREPARACIÓN DEL INÓCULO

Para el inóculo se empleó el estiércol bovino siendo está la fuente de biomasa. Se realizó una mezcla de agua residual de alimentación y de estiércol bovino con una proporción de relación de 2:1, que fue llevada a una filtración para la eliminación de todo el material lignoceluloso que contiene el estiércol. El inóculo fue almacenado en cuatro bidones plásticos con una capacidad de 4 litros, encontrándose cada uno a temperatura ambiente (28 a 30 °C) hasta llegar a su desgasificación, es decir, que a través de una manguera conectada desde el interior del reactor a otro punto que contiene agua se logrará cesar el desprendimiento del biogás, sosteniendo las condiciones anóxicas del sistema.

Se midió el pH y los sólidos totales volátiles del inóculo antes de ser utilizado, para asegurar un adecuado funcionamiento del digestor, empleando las técnicas analíticas para su fin.

3.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO

Se tomaron muestras compuestas del agua residual resultante de la empresa de café instantáneo, según el requerimiento para la alimentación el reactor.

Una vez obtenidas las muestras se las desplazo al laboratorio para su respectiva caracterización siguiendo la metodología descrita en el American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, para establecer las condiciones iniciales del sustrato (Tabla9).

Tabla 10. Técnicas analíticas utilizadas

Parámetros	Técnica analítica	Unidad
Temperatura	Directo, Columna de mercurio	°C
pH	Directo, Potenciométrico	
LDO	Standard Methods, Electrométrico	mg.L ⁻¹
Salinidad	Standard Methods, Conductimétrico	%
Conductividad	Standard Methods, Conductimétrico	µs.cm ⁻¹
TDS	Standard Methods, Gravimétrico	mg.L ⁻¹
Taninos	Standard Methods, Volumétrico	mg.L ⁻¹
DQO	Standard Methods, Método de reflujo	mg.L ⁻¹

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

Una ves caracterizado el sustrato de alimentación, este fue almacenado en bidones plásticos herméticamente cerrados en un equipo de refrigeracion a una temperatura de 4°C para evitar su deterioro. Se tomaron porciones de sustrato que fueron aclimatadas para la alimentación en los reactores.

Para la determinacion de oxigeno disuelto (LDO), pH, salinidad y la conductividad del extracto se utilizó un equipo multiparámetro HQ40d marca Hach.

En cuanto a la cuantificación de los tanios, la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se utilizó el espectrofotómetro DR/2500 marca Hach.

3.3 DIGESTIÓN Y PRODUCCIÓN DE METANO

Al equipo para la digestión se le emplearon cuatro reactores de flujo ascendente elaborados con un plástico resistente, con una altura de 30 cm, 10.16 de diámetro aproximadamente, y un volumen de 2,8 litros. Estos tienen tuberías de PVC para la entrada del sustrato y salida del efluente clarificado, además de válvulas de paso y cierre. Para el arranque del digestor se explica a continuación:

Al encontrarse estabilizado el inóculo, se cargó al reactor hasta un 30% de su volumen efectivo, a continuación se alimentó el sustrato con un flujo semi-continuo de 100 mL.día⁻¹, para favorecer con la adaptación de la población de microorganismos a las condiciones de operación ya establecidas.

Se controló el pH durante toda la experimentación y que este se mantengan ente los 6.5 y 7 para evitar la acidificación del proceso en el reactor, así mismo con la temperatura para garantizar el régimen de trabajo impuesto (régimen mesofílico 35 °C y termofílico 55 °C). Los reactores se operaron con recirculación tres veces al día durante media hora por medio de bombas PERISTALTICAS, mientras que la carga orgánica volumétrica (Bv) varió en función de la concentración de la DQO del residual captado en la empresa generadora y se calculó utilizando la siguiente ecuación.

$$B_v = \frac{S_o Q}{V} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- B_v es la velocidad de carga orgánica (kg DQO.m⁻³.d⁻¹)
- S_o es la concentración del sustrato en el influente (kg DQO.mL⁻¹),
- Q es el flujo de alimentación (mL. d⁻¹) y V es el volumen total del digestor (m³).

En la obtención de metano, se inspecciono el volumen del gas producido diariamente utilizando una solución de NaOH al 15%, que se lo conoce como el método de desplazamiento de un líquido en una botella de Mariotte.

Una vez obtenido el gas, se procedió a realizar una filtración utilizando una fibra metálica que se colocó a lo largo del conducto de salida del gas. El metano se deslizó y se registró mediante probetas graduadas.

3.4 INSTRUMENTACIÓN

En la experimentación se utilizaron los siguientes equipos:

- Termo reactor
- Espectrofotómetro
- Mufla
- Balanza analítica
- Phmetro
- Medidor de oxígeno disuelto
- Medidor de solidos totales disueltos

Materiales:

- Probetas
- Pipetas
- Fiolas
- Matraz aforada
- Vidrio reloj
- Recipientes plásticos

3.5 ECUACIÓN DE LOS ANÁLISIS EXPERIMENTALES

3.5.1 ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA ORGÁNICA.

Fuente:
$$Bv = \frac{Co * Q}{V_{ef}} \quad (\text{Rodríguez et al. 2000})$$

Donde:

- Vef es el volumen efectivo (2.8L), L
- Q es el caudal (0,200L/d), L/d
- Co es el DQO, g/L
- Bv es la carga orgánica, gDQO/Ld

Tabla 11. Caracterización del agua residual de café instantáneo

ALIMENTACIÓN														
							Taninos			DQO (mg/L)				
Día	T	pH	LDO	Salinidad	Conduct	TDS	M1	M2	Promedio o Taninos	M1	M2	Promedio o DQO	DQO (kg)	Bv kgm3/d
1	42	6	1.51	0.64	1277	634	160	180	170	2930	2970	2950	2,95	0,211
6	42	6.5	1.54	4.23	7.67	4.12	410	390	400	7830	8160	7995	8,00	0,571
8	38	6	1.25	1.86	3.55	1832	82	80	81	3870	3990	3930	3,93	0,281
13	49	6.5	5.44	0.65	1302	647	189	191	190	4060	4057	4058,5	4,06	0,290
18	39.3	6.5	1.64	4.94	8.85	4.79	270	260	265	7120	7330	7225	7,23	0,516
28	48	6.5	1.76	0.53	1077	527	230	250	240	3220	3440	3330	3,33	0,238
33	23	6	4.51	2.56	4.78	2.5	180	190	185	6250	5890	6070	6,07	0,434
39	59	7	4.82	0.65	1307	649	150	140	145	3860	4330	4095	4,10	0,293
49	47	6.5	0.98	0.55	1107	547	160	130	145	2240	2560	2400	2,40	0,171
52	50	6.5	7.53	7.31	12.37	7.05	1100	1000	1050	8360	8100	8230	8,23	0,588

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

3.5.2 CÁLCULO DE LAS CARGAS ORGÁNICAS SEGÚN EL NÚMERO DE DÍAS DE ALIMENTACIÓN EN LOS REACTORES:

- $Bv(1) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{2,95 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,211 kgm^3/d$
- $Bv(6) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{8,00 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,571 kgm^3/d$
- $Bv(8) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{3,93 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,281 kgm^3/d$
- $Bv(13) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{4,06 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,290 kgm^3/d$
- $Bv(18) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{7,23 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,516 kgm^3/d$
- $Bv(28) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{3,33 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,238 kgm^3/d$
- $Bv(33) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{6,07 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,434 kgm^3/d$
- $Bv(39) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{4,10 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,293 kgm^3/d$
- $Bv(49) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{2,40 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,171 kgm^3/d$
- $Bv(71) \left(\frac{kgm^3}{d} \right) = \frac{8,23 \frac{g}{L} * 0,2 \frac{L}{d}}{2,8L} = 0,588 kgm^3$

Tabla 12. Desplazamiento de ml de metano del sistema Mariotte

DESPLAZAMIENTO DE METANO					
FECHA	Día	Termofilico (55°C)		Mesofilico (35°C)	
		1	2	3	4
6/09/2017	1	0	0	0	0
7/09/2017	2	0	0	0	0
8/09/2017	3	0	0	0	85
9/10/2017	4	2	1	1	75
10/09/2017	5	2	220	260	118
11/09/2017	6	292	730	238	224
12/09/2017	7	253	620	271	478
13/09/2017	8	246	335	248	102
14/09/2017	9	228	342	340	152

15/09/2017	10	124	309	290	197
16/09/2017	11	224	796	394	385
17/09/2017	12	98	210	127	102
18/09/2017	13	98	240	75	68
19/09/2017	14	198	302	125	161
20/09/2017	15	276	298	286	176
21/09/2017	16	70	72	94	283
22/09/2017	17	245	240	160	145
23/09/2017	18	195	180	165	115
24/09/2017	19	130	140	169	134
25/09/2017	20	515	547	176	143
26/09/2017	21	143	324	180	150
27/09/2017	22	140	338	278	286
28/09/2017	23	142	94	185	164
29/09/2017	24	158	308	180	96
30/09/2017	25	160	330	170	135
1/10/2017	26	368	912	451	407
02/10/2017	27	40	328	210	179
03/10/2017	28	58	142	140	232
04/10/2017	29	90	240	340	191
05/10/2017	30	20	129	145	238
06/10/2017	31	45	721	490	719
7/10/2017	32	78	210	286	446
8/10/2017	33	89	242	166	342
9/10/2017	34	90	226	210	390
10/10/2017	35	65	270	180	211
11/10/2017	36	66	270	138	346
12/10/2017	37	92	268	398	438
13/10/2017	38	75	175	165	109
14/10/2017	39	126	225	163	390
15/10/2017	40	157	222	88	108
16/10/2017	41	148	192	94	98
17/10/2017	42	50	360	175	225
18/10/2017	43	98	102	116	126
19/10/2017	44	126	158	165	128
20/10/2017	45	157	172	108	134
21/10/2017	46	176	258	98	150
22/10/2017	47	159	93	42	140
23/10/2017	48	130	176	67	108
24/10/2017	49	378	126	89	77
25/10/2017	50	406	166	126	323
26/10/2017	51	393	170	148	567
27/10/2017	52	354	144	294	122
28/10/2017	53	328	542	630	668
29/10/2017	54	50	218	185	306

01/11/2017	55	128	289	92	405
------------	----	-----	-----	----	-----

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

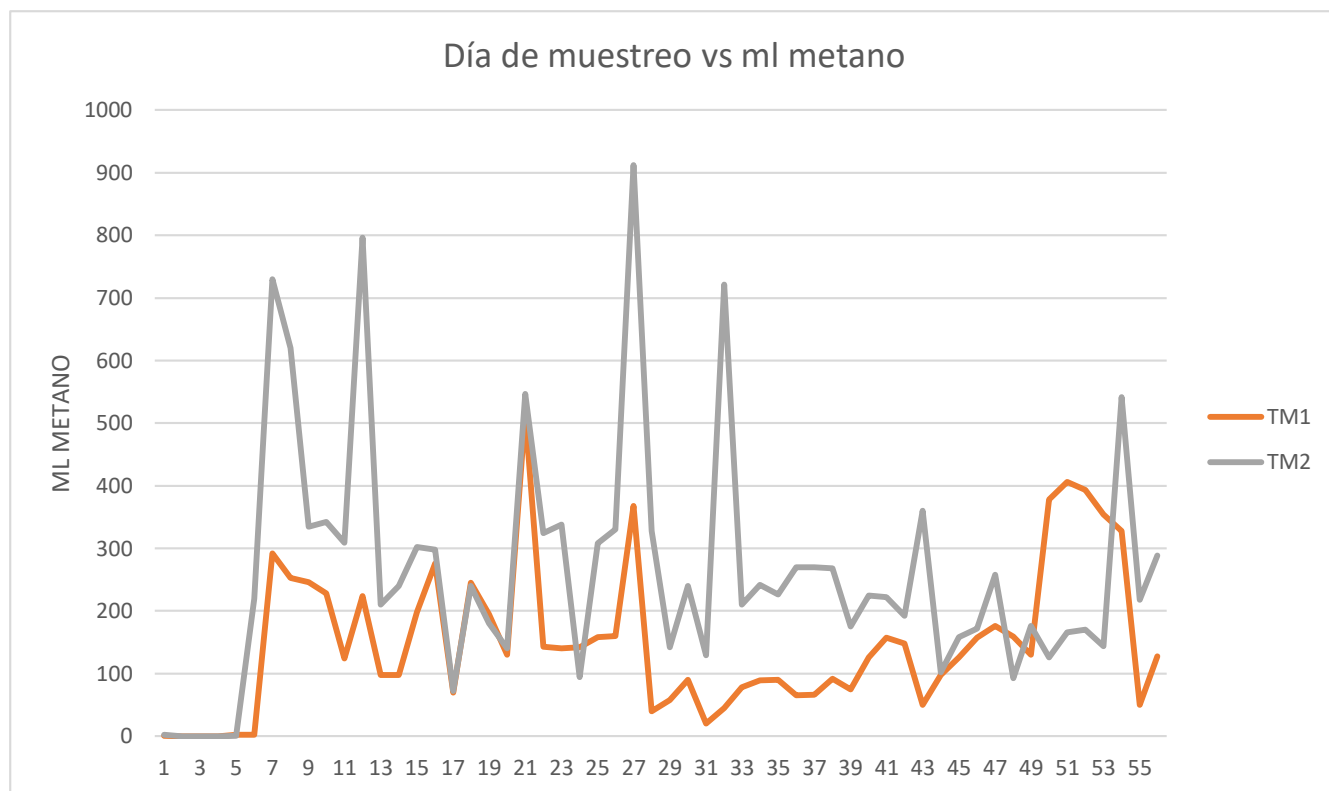


Figura 6. Desplazamiento de metano vs día de muestreo (reactor termofílico)

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

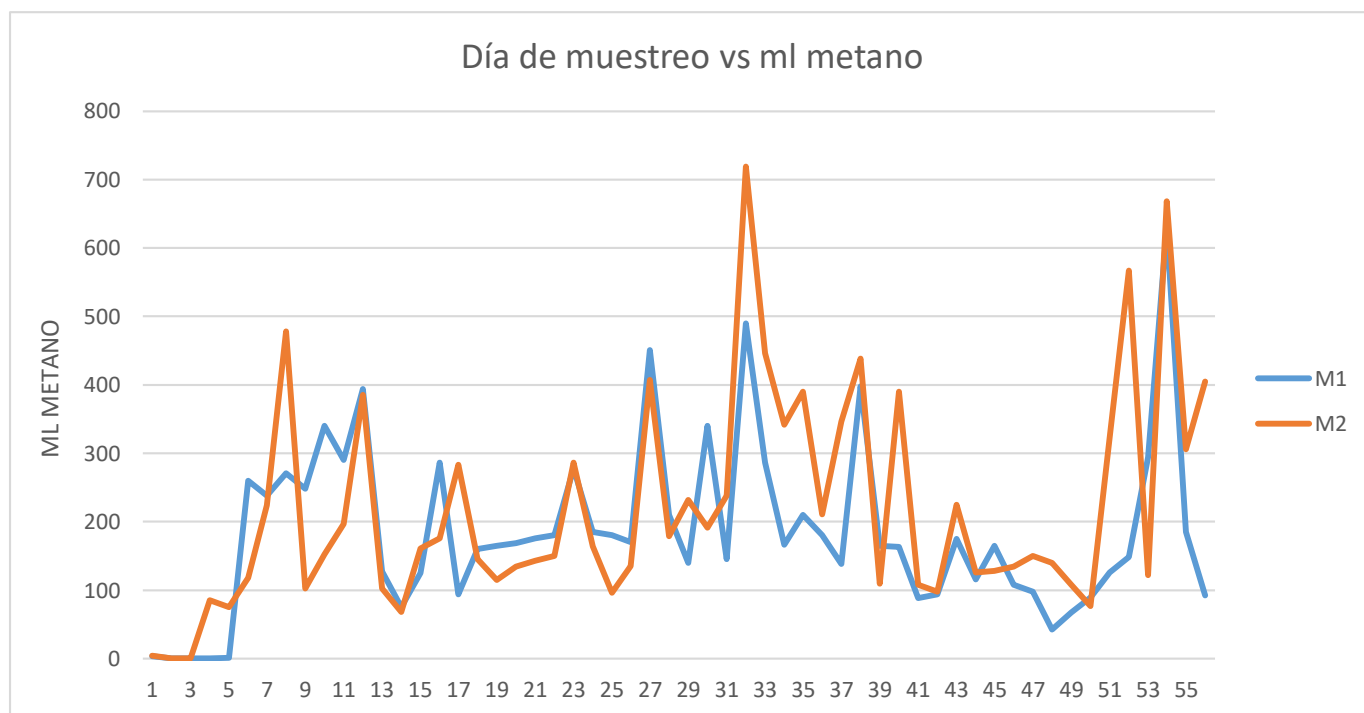


Figura 7. Desplazamiento de metano vs día de muestreo (reactor mesofílico)

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

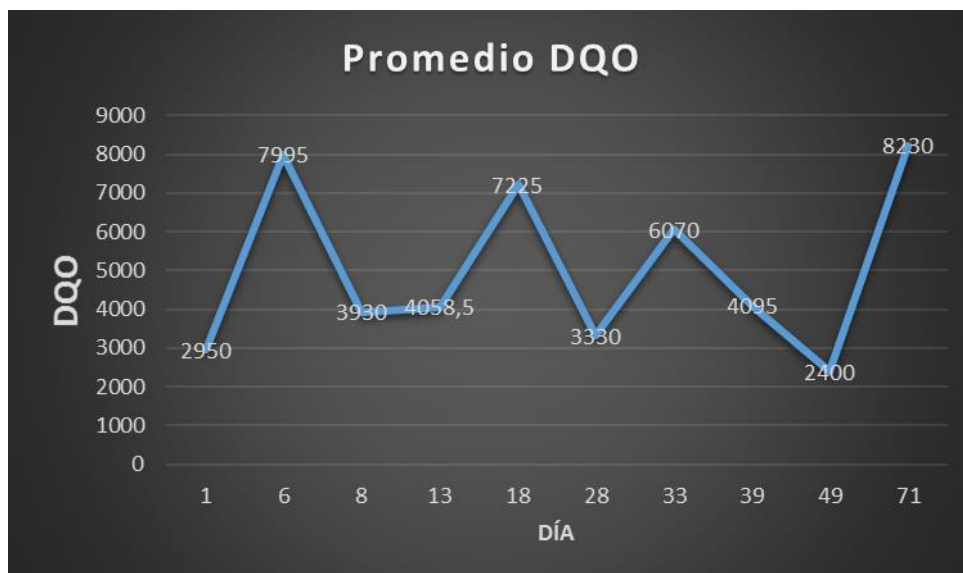


Figura 8. DQO de agua residual de café instantáneo vs Día de muestreo

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

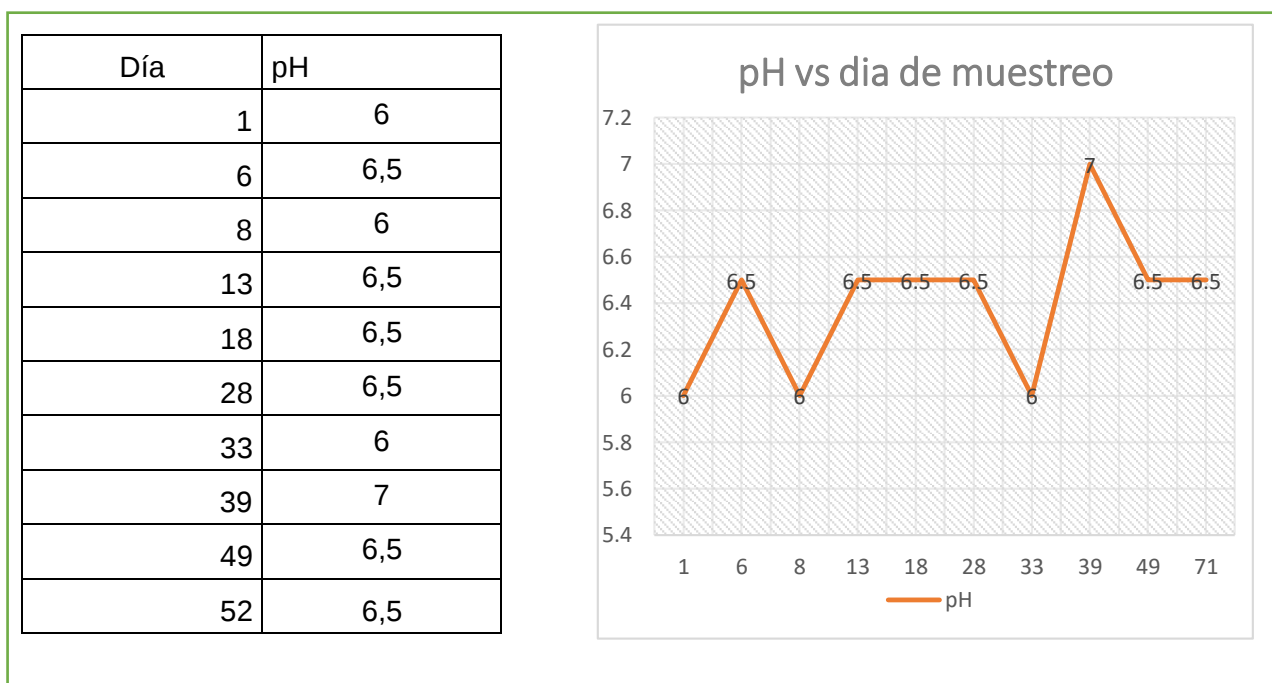


Figura 9. pH de agua residual de café instantáneo vs Día de muestreo

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

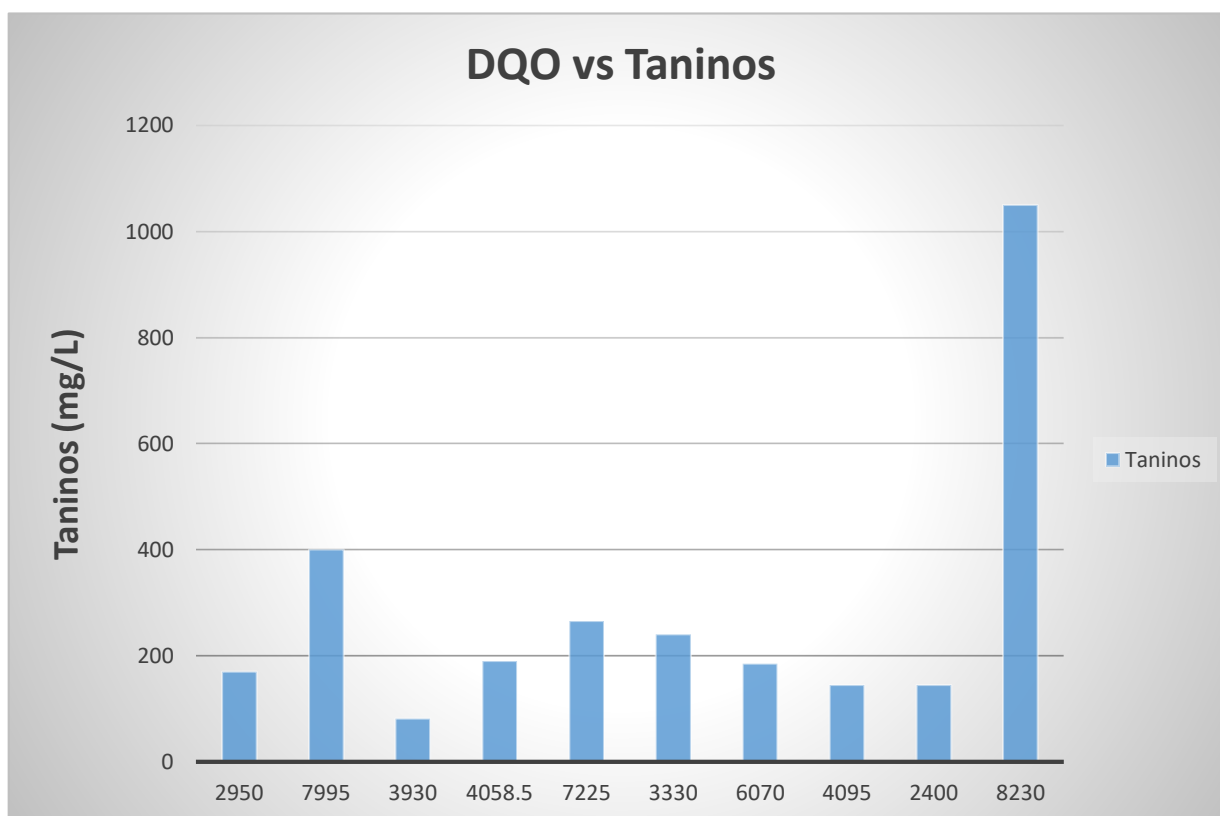


Figura 10. Taninos de agua residual de café instantáneo vs DQO de agua residual de café instantáneo

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

Tabla 13. Carga orgánica vs desplazamiento de metano

DIA	Fecha	Bv kgm3/d	DESPLAZAMIENTO			
			Termofilico (55°C)		Mesofilico (35°C)	
			1	2	3	4
1	21/03/2017	0,211	0	0	0	0
6	27/03/2017	0,571	292	730	238	224
8	29/03/2017	0,281	246	335	248	102
13	07/04/2017	0,290	98	240	75	68
18	20/04/2017	0,516	195	180	165	115
28	03/05/2017	0,238	40	328	210	179
33	10/05/2017	0,434	89	242	166	342
39	16/05/2017	0,293	75	175	165	109
49	29/05/2017	0,171	159	93	42	140
52	20/06/2017	0,588	354	144	294	122

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

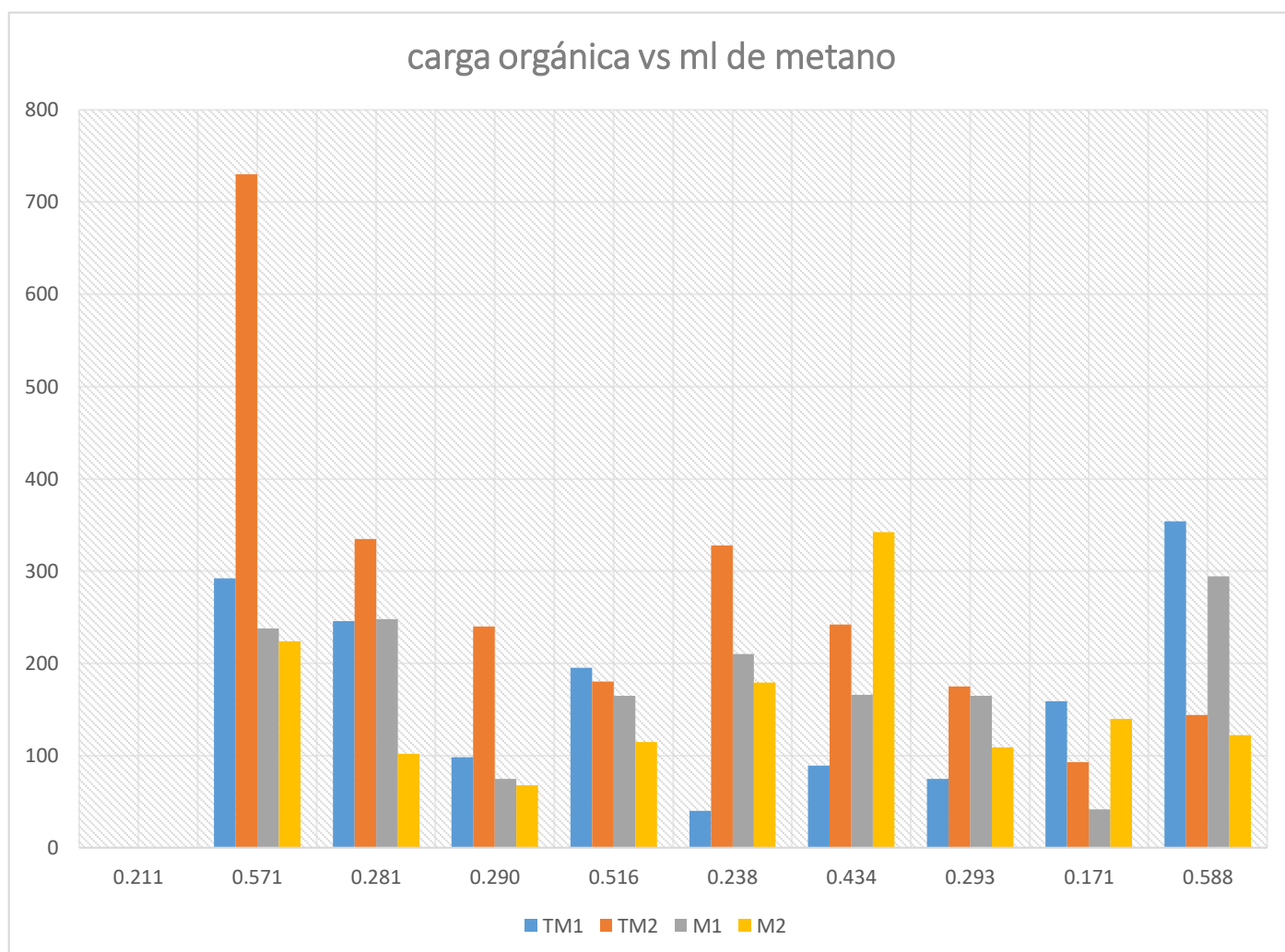


Figura 11. Carga orgánica vs ml de metano

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

Tabla 14. Carga orgánica vs desplazamiento de metano más efectivo

Carga orgánica	Termofílica	Mesofílica
Bv kgm3/d	TM2	M1
0,211	0	0
0,571	730	238
0,281	335	248
0,290	240	75
0,516	180	165
0,238	328	210
0,434	242	166
0,293	175	165
0,171	93	42
0,588	144	294

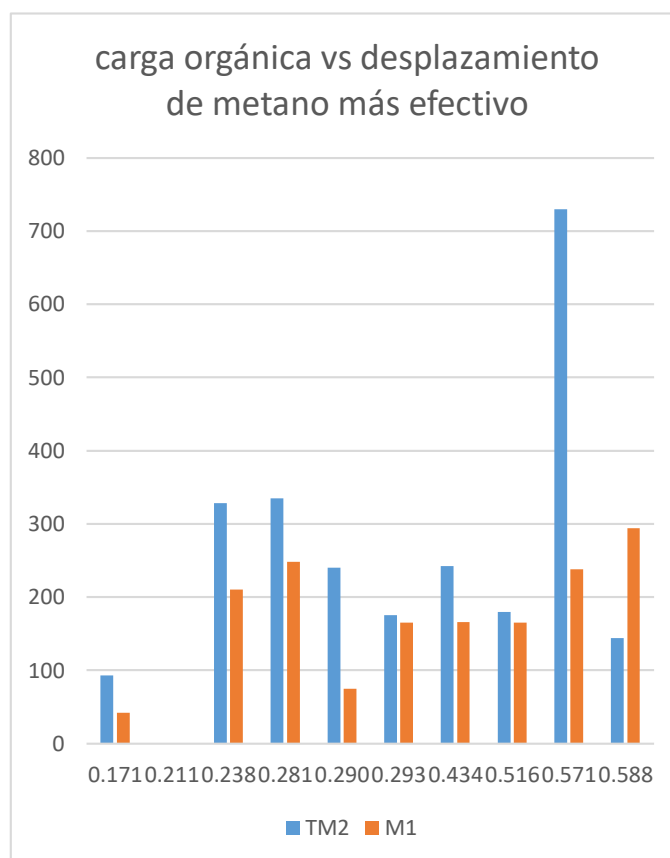


Figura 12. Carga orgánica vs desplazamiento de metano más efectivo

Fuente: (Antony Alcivar, Kevin Rosero, 2018)

3.6 EFECTOS DE PARÁMETROS FÍSICOS ANALIZADOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

3.6.1 EFECTO DEL PH EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Este parámetro físico es importante para analizar la actividad enzimática de los microorganismos y la forma en que el pH afecta en la actividad microbiana son los siguientes:

- Cambio de los grupos hidrolizables de las enzimas (grupos carboxilos y aminos).

- Alteración de los compuestos no enzimáticos del sistema (ionización del sustrato, desnaturalización de la estructura proteica de la enzima).

Para complementar los efectos de pH, se debe adicionar la concentración de H^+ , en general se considera un valor óptimo para pH los valores en rangos de 6,6 y 7,6 por consiguiente valores fuera del rango óptimo de pH causaran que no se produzca un proceso eficiente.

Los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, provocando la acumulación de ácido acético y H_2 . Al aumentar la presión parcial del H_2 , las bacterias que degradan el ácido propiónico serán severamente inhibidas, causando una excesiva acumulación de ácidos grasos volátiles de alto peso molecular, particularmente ácidos propiónico y butírico, los cual disminuirá la producción de ácido acético, generando una disminución del pH. Si no se toma medidas correctivas, el sistema no funcionará de manera eficiente. (Rodríguez S. &., 2000)

3.6.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Este parámetro influye directamente al proceso de digestión anaerobia ya que afecta a las velocidades de reacción con las que se lleva a cabo cualquier proceso biológico. A medida que se aumenta la temperatura habrá un mayor crecimiento de microorganismos y por ende una mejor producción de biogás. (ICDCA, 2005)

Rangos de temperatura en los cuales se puede realizar una correcta digestión anaerobia:

- Psicrófila (por debajo de $25^{\circ}C$)
- Mesófila (entre $25^{\circ}C$ y $45^{\circ}C$)
- Termófila (entre $45^{\circ}C$ y $65^{\circ}C$)

Tabla 15. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia

RANGOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE FERMENTACION ANAEROBIA				
FERMENTACIÓN	MINIMO	OPTIMO	MÁXIMO	TIEMPO DE RETENCION
Psicrofilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 dias
Mesofilica	15-20 °C	35-45 °C	35-45 °C	30-60 dias
Termofilica	25-45 °C	75 – 80 °C	75-80 °C	10-15 dias

FUENTE: LAGRANGE, 1979

3.7 TANINOS

Son sustancias solubles en agua y alcohol, que se hidrolizan por los ácidos y por las enzimas (talasa) en glucosa y diversos ácidos-fenoles. Las soluciones que contienen taninos suelen tener una reacción ligeramente ácida y de carácter reductor fuertemente oxidantes en contacto con el aire. (Ugrenovic, 1997)

En la digestión anaerobia los taninos cumplen la función de agentes inhibidores y recalitrantes por ende el control de este parámetro físico es indispensable para el rendimiento efectivo de nuestro reactor anaerobio ya que si no se controla el sistema puede fallar.

A partir 600mg/L empieza la inhibición en la digestión anaerobia.

3.8 DETERMINACION DE PARÁMETROS FÍSICOS

PH, Temperatura, Salinidad, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad

3.8.1 MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ Multiparámetro HACH HQ40d y sondas
- ✓ Vasos de precipitación

3.8.2 PROCEDIMIENTO

- Para el análisis de estos parámetros se utilizó el equipo HACH HQ40d conformado por tres sondas, en el cual vamos a determinar PH, Oxígeno disuelto, conductividad, salinidad.

- Se coloca dos muestras, una contiene agua destilada y la otra el agua residual
- Para la determinación del parámetro a analizar se toma la sonda respectiva, se enjuaga con agua destilada y se introduce en la muestra de agua residual, se espera a que se estabilicen los valores y se realiza la lectura.
- Tabular resultados para la tabla #1.

3.8.3 EXPRESION DE RESULTADOS

- ✓ pH: rango 6,6 a 7,6
- ✓ temperatura: °C
- ✓ solidos disueltos totales: mg/l
- ✓ salinidad: % de sales presentes en la muestra
- ✓ conductividad: mg/cm³

3.9 DETERMINACION DE PARÁMETROS QUÍMICOS

3.9.1 DQO

3.9.1.1 MATERIALES Y EQUIPOS:

- ✓ Termorreactor HACH
- ✓ Espectrofotómetro HACH
- ✓ Viales de reactivo para digestión de DQO HR.

3.9.1.2 PROCEDIMIENTOS:

- Se tomó 100ml de muestra y se homogenizó agitándolo por 30 segundos
- Se encendió el Termorreactor y Se llevó a una temperatura de 150 °C
- Se tomó un vial de reactivo para digestión de DQO. Luego sosteniendo el vial en un ángulo de 45 ° se agregó la muestra, aproximadamente 2 ml.
- Se tapó el tubo y se enjuago la parte exterior con agua destilada, se secó con una toalla de papel.

- El tubo se colocó en una tina, pero antes se mezcló bien la muestra agitando el tubo invirtiéndolo varias veces
- Para la preparación del blanco se utilizó agua destilada siguiendo los pasos 3, 4 y 5.
- Los dos tubos se colocaron en el reactor y fueron calentados a 150 °C por dos horas.
- El reactor fue apagado y desconectado, si remover los tubos de su interior para dejarlos enfriar a 120 °C para agitarlos como en el paso 5.
- Posteriormente los tubos fueron colocados en una gradilla para que se enfríen a temperatura ambiente.
- Luego se configuró el espectrofotómetro con el cód 435 para que tome lectura de la DQO. Se limpiaron los viales con la gasa estéril se leyó el blanco y se enceró, luego la muestra y se anotaron los resultados

3.9.1.3 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados están expresados en unidades de mg/L de DQO

3.9.2 OXÍGENO DISUELTO

3.9.2.1 MATERIALES Y EQUIPOS:

- Multiparámetro Hach HQ40d y sonda LDO
- Vasos de precipitación

3.9.2.2 PROCEDIMIENTO

Para la determinación de Oxígeno Disuelto (LDO) se utilizó el Multiparámetro.

Se recomienda realizar la medida de oxígeno disuelto directamente del efluente, ya que del traslado de la muestra al laboratorio puede haber cambios, es un parámetro que puede variar con facilidad y provocar un margen de error en el resultado

3.9.2.3 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS:

Los resultados de Oxígeno Disuelto están expresados en mg/L y van de un rango de entre 0,98 y 7,53 mg/L aunque es recomendable que vayan de 4 a 6 mg/L.

3.9.3 TANINOS

3.9.3.1 MATERIALES Y EQUIPOS:

- Espectrofotómetro HACH
- Cubeta de vidrio
- Pipeta

3.9.3.2 SUSTANCIAS Y REACTIVOS:

- Agua desionizada
- Tanniver® 3
- Carbonato de Sodio

3.9.3.3 PROCEDIMIENTO:

NOTA: Para muestras coloreados o muy turbias se recomienda filtrarlas previo a este procedimiento.

- Se configuró el espectrofotómetro para que tome lectura de taninos en la muestra con el cód 720.
- Se añadieron 25 mL de la muestra en una cubeta de vidrio.
- Se añadieron 25 ml de agua desionizada para el blanco.
- Luego se vertió en la cubeta de vidrio con la muestra y el blanco respectivamente 0.5 ml de reactivo Tanniver® 3 y se agitan un poco.
- Luego se vertió en la cubeta de vidrio con la muestra y el blanco respectivamente 5 ml de reactivo carbonato de sodio, se tapó y se agito por unos segundos este tomara una coloración azul por los taninos presentes en la muestra.
- Luego de que inicie la reacción se esperó por un periodo de 25 minutos.
- Para empezar la lectura se procedió a limpiar las cubetas con gasa estéril y se tomó el blanco y se colocó en el espectrofotómetro para encerar. Luego se tomó la muestra colocándola en el equipo y se determinó el resultado.

- Se anotaron los resultados.

3.9.3.4 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS:

Los resultados de taninos están expresados en mg/L de Taninos.

3.10 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO

Este Bio-rector Anaerobio es de tipo UASB, es decir de flujo de alimentación ascendente, trabaja con dos temperaturas (35 y 55 °C), la cual es controlada en una piscina que está separada en el medio para poder controlar ambas temperaturas por separado, usando para ellos agua como donador de calor hacia el interior de los reactores, impulsado por una resistencia independiente y esta a su vez controlada y automatizada por su respectivo termostato. Consta de cuatro puertos semicontinuos o Batch con una capacidad de 2,8Lt C/U, los cuales están alojados y distribuidos en las piscinas de la siguiente manera: Dos semicontinuos en la piscina de 35 °C y dos semicontinuos en la piscina de 55 °C.

Su alimentación se da mediante conductos provenientes desde la parte inferior de los reactores que son controladas y reguladas a su vez por válvulas, estos conductos provienen del tanque elevado que está a un costado del mismo. En la parte posterior están instaladas cuatro bombas, una para cada reactor las cuales cumplen la función de recirculación, esto para lograr una mejor degradación orgánica logrando remover los lodos sedimentados que contienen mayor concentración de biomasa.

En la parte superior de cada reactor se aloja una válvula para regular el paso del Bio-gas producido, el mismo pasara por conductos que en su interior llevan fibra metálica haciendo la función de un filtro, al final este gas llegara a la parte superior donde se alojan botellas de Mariotte que contiene NaOH al 15 %, esto para reaccionar con el Co₂ con el fin que quede Metano puro, a su vez esta estará conectada en la parte inferior de cada Botella de Mariotte a cilindros graduados, los cuales medirán el volumen exacto de

Metano producido. Cabe señalar que tanto la recirculación como el calentamiento funcionan mediante un sistema eléctrico accionado por interruptores.

3.11 FUNCIONAMIENTO:

- Colocar los Pellets de PVC en el interior de cada reactor, sellar los mismos asegurándose que no tenga fugas.
- Llenar con agua cada piscina hasta el nivel adecuado.
- Llenar las Botellas de Mariotte con la solución de NaOH al 15 % dejando un espacio de $\frac{1}{4}$ de la capacidad de la botella posterior cerrar válvula de llenado.
- Desconectar los conductos de medición de gas y de alimentación, asegurarse que las válvulas tanto de alimentación como las de medición de gas estén abiertas para la aplicación de CO₂.
- Se procede a aplicar el CO₂ conectando el tanque a los conductos de alimentación ubicados en la parte inferior por un lapso de 5 min por reactor, una vez llenado inmediatamente cerrar válvulas.
- Llenar el tanque de alimentación con el agua residual del café soluble previo a este paso separar una muestra de 1000 ml para medir los parámetros iniciales con la que ingresa el agua residual.
- Conectar los conductos de alimentación al tanque, abrir las válvulas de alimentación para los cuatro reactores y llenar hasta el volumen marcado, para luego cerrar las válvulas de alimentación y de salida de los semicontinuos en cambio para los continuos regular las válvulas de alimentación y salida esto por micro goteo, inmediatamente dado este paso colocar el recipiente de almacenamiento del agua tratada, este paso se hará cada día pues la alimentación es cada 24 horas.

- Por cada válvula superior de regulación de gas se procede a inocular las bacterias metanogénicas anaerobias provenientes de cada microcosmos con un volumen de 50ml por cada reactor, utilizando para ello una jeringa y una manguera fina de silicón sumergida hasta el fondo con el fin de que nuestras bacterias anaerobias no tengas contacto alguno con el oxígeno asegurando con esto que se mantengan vivas, inmediatamente retirar la manguera y cerrar las válvulas luego volver a conectar los conductos de medición de gas.
- Una vez dado todos estos pasos proceder al funcionamiento del sistema eléctrico, accionando los interruptores de seguridad y el interruptor doble para el accionar de cada resistencia de calentamiento, pero antes se debe regular los termostatos para obtener la temperatura deseada.
- Una vez ya en marcha se controla la temperatura del agua con un termómetro extra para estar seguros de que los termostatos funcionan correctamente.
- La recirculación se hace tres veces por día cada una por un lapso de 30 min, para ello previamente se cierran las válvulas de gas, de entrada y salida, una vez terminado este paso abrir las válvulas con normalidad.
- La medición de Gas se controla cada 24 horas, abriendo las válvulas de gas y las de control de flujo de la botella de Mariotte, observando el burbujeo en el interior de las botellas, para así leer el volumen del NaOH desplazado y medido en los cilindros graduados el mismo que será el volumen real de metano producido por cada reactor.
- En recipientes de vidrio color ámbar previamente esterilizados se procede a recoger las muestras provenientes de las válvulas toma muestras de cada reactor, tomando de la válvula superior y de la inferior para asegurar su Homogeneidad,

las mismas que serán evaluadas en los distintos parámetros Físicos y Químicos del agua residual en especial DQO.

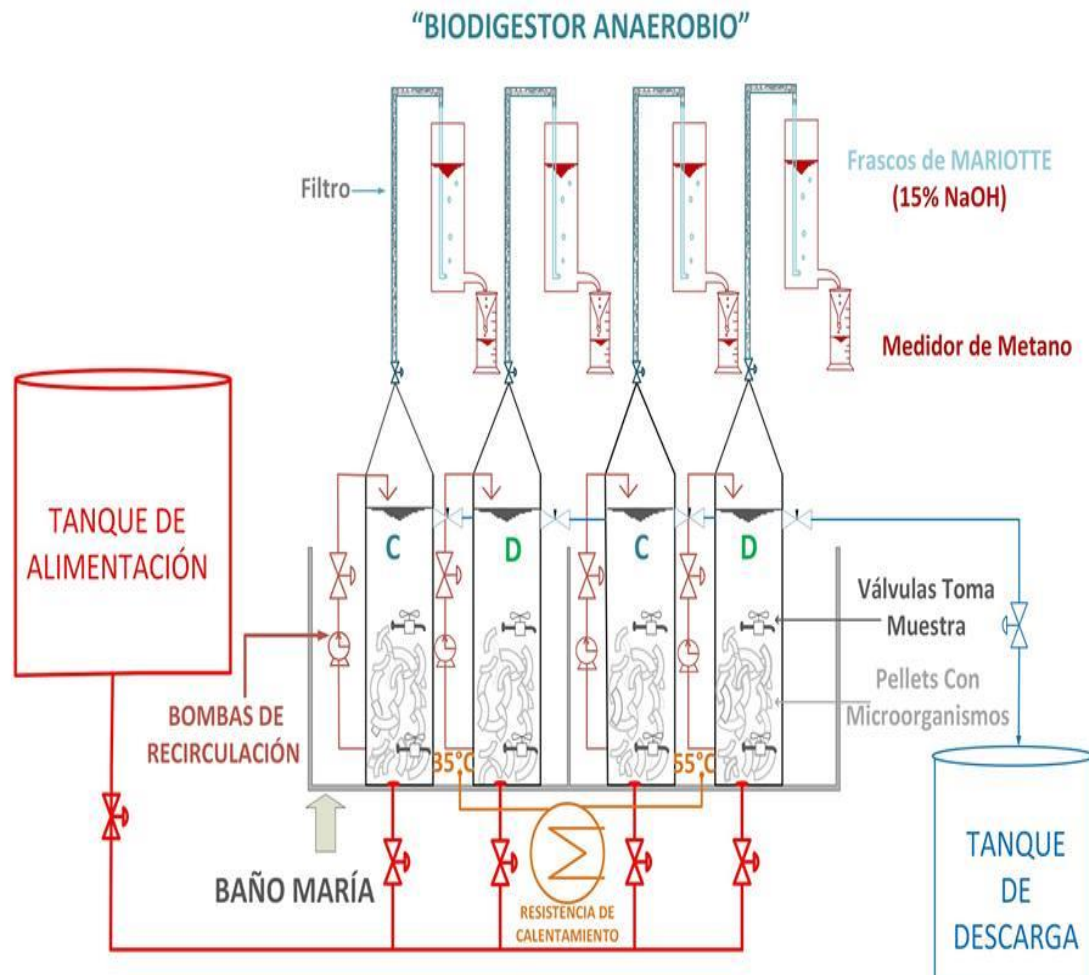


Figura 13. Diagrama del equipo Biodigestor anaerobio

Fuente: (Encalada, 2016)

3.12 ANALISIS DE RESULTADOS:

En el presente trabajo de investigación podemos observar mucha variabilidad en los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual, es el caso del pH que oscila en un rango de 6 a 7, esto puede ser un factor negativo en el desarrollo de la investigación impidiendo que se produzca una eficiente digestión anaerobia, puesto que los valores de

pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, provocando la acumulación de ácido acético y H_2 , incidiendo en la degradación de los ácidos propionico y butírico por inhibición, generando acumulación de los ácidos grasos volátiles acidificando el reactor, lo cual origina una reducción en la producción de metano. Las temperaturas de muestreo del sustrato se encontraron en un rango de 33°C a 59°C lo que favorece a la digestión mesofilica y termofilica. Hoja de Datos #1 Figura 9

Otro parámetro importante de mencionar es la inestabilidad que reflejan los resultados de los análisis del sustrato con respecto al DQO, en el cual podemos observar que fluctúa grandemente a lo largo del tiempo en cada muestra analizada; esto se debe a que la calidad del grano de café con la que se produce el agua residual del mismo no es constante y las mezclas que se realizan en la industria son variable, es decir que la variación del DQO está directamente relacionado con el tipo de grano de café utilizado dentro de la industria; esto se pudo comprobar realizando análisis a aguas residuales sintéticas en los cuales se utilizaron variedades específicas de granos de café los cuales pudieron reportar valores diferentes de acuerdo al tipo de grano de café analizado. Hoja de Datos 1, Figura 8

El oxígeno disuelto fluctúa entre 0,98 a 7,53 podemos apreciar valores de LDO lo suficientemente bajos lo cual es positivo ya que durante la hidrólisis en la digestión anaerobia todo ese LDO es consumido por las bacterias hidrolíticas, acetogénicas; preparando así un ambiente totalmente anóxico para que las arqueas metanogénicas produzcan metano. Hoja de Datos #1

En cuanto a la digestión anaerobia realizada, se puede observar que el régimen termofílico es más eficiente ya que tuvo una producción de metano superior al régimen mesofílico con un rendimiento de 53% de incremento de metano. Las variaciones de la carga

orgánica están en función del DQO del agua residual, como consecuencia no es posible regular la carga orgánica de forma ascendente. Hoja de Datos #1

Otros factores que influyeron en el rendimiento del reactor, fueron desperfectos en el diseño del equipo tales como fugas hidráulicas, fallas eléctricas, uno de los factores más negativos fue la adsorción de hidróxido de sodio al interior de los reactores por diferencia de presión, ocasionado una saponificación indeseada con los ácidos grasos volátiles presentes en el mismo. Para solucionar este inconveniente se procedió a realizar el lavado el reactor afectado, y una nueva inoculación para continuar su funcionamiento.

La digestión anaerobia se realizó por duplicado de acuerdo al régimen establecido.

Los taninos fueron evaluados por su acción recalcitrante, los valores reportados están dentro del rango de tolerancia del microorganismo a excepción del día 52, que fue de 1050mg/L es conocido que a partir de 600 mg/L comienza la inhibición.

4 CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES:

- La caracterización del agua residual es muy variable, los valores de DQO fluctúan de 2950mg/l a 8230mg/l, de igual manera ocurre con el pH (6 a 7) y los taninos (81mg/l a 400mg/l), esto está en dependencia de la calidad del grano de café y las mezclas realizadas en la industria de café instantáneo donde se produce el agua residual, ante este escenario se debería contar con un homogenizador del agua residual para estabilizar los parámetros, antes de alimentar los rectores anaerobios.
- Mediante el proceso anaerobio realizado se pudo observar que la producción de biogás está en función del incremento o disminución de la carga orgánica del sustrato en combinación con otros parámetros de control tales como, temperatura pH y DQO. El régimen termofílico fue un 53% más eficiente que el régimen mesofílico en la producción de metano.
- La combinación de parámetros más eficiente fue obtenida en el régimen termofílico, con una DQO no mayor a 7000 mg L, debido a que con valores superiores se incrementa la concentración de taninos que debe estar en un rango menor a 600 mg-L lo cual ocasiona una inhibición del proceso y por ende bajos rendimientos de metano.

4.2 RECOMENDACIONES:

- Para el muestreo del agua residual de café instantáneo se recomienda realizarlo en horas matutinas, después de un periodo de 12 horas de muestreo en la obtención de una muestra compuesta, para evitar alteraciones en el residuo, debido a mantenimiento de equipos y tuberías que son tratados con ácidos y bases, lo cual puede generar cambios en el pH del agua residual.
- Se debe controlar minuciosamente las fugas y fallas eléctricas del reactor que pueden ocurrir en cualquier instante del proceso de digestión anaerobia.

- Realizar una calibración periódica de las bombas peristálticas, dosificadoras para que no exista un déficit del efluente o falla en la recirculación del sistema anaerobio por ende se procede a hacer un balance de masa para controlar los efluentes y afluentes del sistema.
- Aclimatar el sustrato a las temperaturas en las que se realiza la digestión anaerobia para evitar cambios bruscos de temperaturas que pueden alterar a la biomasa presente en el reactor.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, F. (Enero de 2002). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de café en el beneficio de COORPNARANJO. R.L.* Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/204/Tesis%20Franger%20Acu%C3%B1a%201.pdf?sequence=1>
- ANACAFÉ. (s.f.). *LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ*. GUATEMALA .
- BIOTHANE. (2013). *Tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales con valorización energética*. MADRID-ESPAÑA.
- CABRERA, A. M. (2014). *Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión*. ESPAÑA.
- Cafe de Colombia*. (2016). Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/industrializacion/produccion_de_cafe_soluble/
- Cafe, I. d. (2015). *Demanda se mantiene dinámica a pesar*.
- Cafe, M. d. (2016). *Mundo Del Cafe*. Obtenido de <http://mundodelcafe.es/granos-de-cafe/>

- Centro de Comercio Internacional*. (01 de 01 de 2015). Obtenido de <http://www.intracen.org/guia-del-cafe/los-mercados-del-cafe/Cafe-soluble%E2%80%93perspectiva/>
- CLAUDIA S., M. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *SCIELO*, 15.
- COFENAC. (2011). *SECTOR CAFETALERO*. PORTOVIEJO.
- COFENAC. (2011). *SECTOR CAFETERO*. PORTOVIEJO.
- COFENAC. (2014).
- CoffeeOrganization, I. (Septiembre de 2016). *Internacional CoffeeOrganization*. Obtenido de <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0916-c.pdf>
- Correa , A. (16 de Agosto de 2013). *La industria del café*. Obtenido de <http://www.cafealmendraselecta.com/la-industria-del-cafe/>
- Correa, A. (2013). La industria del Cafe. *Cultura del Cafe*.
- Cortijo, J. D. (2008). *El mundo del cafe*.
- D.Y., L. (2015). *Analisis estadistico de la produccion del cafe*.
- DELGADO, P. A. (2002). *MANEJO INTEGRADO DE LA BROCA DEL CAFÉ*. CALI.
- Denisse Andrea Balseca de la Cadena, J. C. (2011). *Producción de biogás a partir de aguas mieles*. ZAMORANO-HONDURAS.
- Díaz Báez, M., Francisco, M., & Espitia, S. (Agosto de 2002). *Digestión anaerobia*. Obtenido de http://www.uneditorial.net/uflip/Digestion_Anaerobia_una_aproximacion_a_la_tecnologia/pubData/source/Digestion_anaerobia_unal.pdf
- Diego David Alcivar, O. Z. (2016). *EVALUACIÓN DEL EFECTO RECALCITRANTE DE INHIBIDORES*.

El Productor. (8 de 10 de 2016). Obtenido de <https://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/buenas-perspectivas-para-el-cafe-ecuatoriano/>

El Productor. (30 de 01 de 2017). Obtenido de <https://elproductor.com/estadisticas-agropecuarias/rendimiento-de-cafe-en-el-ecuador/>

Encalada, J. (2016). Guayaquil.

Galindo Veliz, X. R. (Octubre de 2011). *Producción e Industrialización de café soluble caso: Solubles Instantáneos*. Obtenido de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/Galindo-Veliz-Xiomara-Raiza.pdf>

Hidritec. (16 de 04 de 2016). Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>

ICDCA. (2005). EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA DIGESTION ANAEROBIA .

INEN. (2013). *CAFE SOLUBLE. REQUISITOS* . QUITO-ECUADOR.

INEN, 2. (1978). *CAFÉ TERMINOLOGIA*.

Ingeniero Ambiental. (2015). Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/inf/efluentesindustriales.htm>

JEFFERSON ENCALADA URGILEZ, A. C. (2016). *EFECTOS RECALCITRANTES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CAFÉ SOLUBLE*. GUAYAQUIL-ECUADOR.

JOSEP ROVIRA . (2011). EL CAFÉ SOLUBLE . *FORUM CAFÉ* , 3-4.

LOPEZ, DOMINGUEZ Y ZURITA. (2000). *ANALISIS ESTADISTICO DE LA PRODUCCION DEL CAFÉ* .

Lorenzo Yaniris, O. M. (2005). DIGESTION ANAEROBIA. ASPECTOS TEORICOS. PARTE I. *ICIDCA*, 48.

- M, E. G. (2016). *Aguas Residuales. Composicion.*
- M.C.E. (Septiembre de 2016). *Café.* Obtenido de
<https://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/cafe/>
- MARJORIE MARQUEZ, S. M. (2011). *REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE UASB*
ANTOLOGIA . MEXICO.
- MARTINEZ, J. M. (2014). *BIOENERGIA: FUENTES, CONVERSION Y SUSTENTABILIDAD.* BOGOTA-COLOMBIA: CYTED.
- Ministerio de Agricultura, G. A. (Agosto de 2016). *Rendimientos del café grano seco en el Ecuador 2016 .* Obtenido de
http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_cafe_grano_seco2016.pdf
- Moreno, M. C. (2013). *Reutilizacion de un efluente.*
- Morgan, F., Morgan, J., & Noyola, R. (20 de Junio de 2001). *Aplicabilidad de la digestión anaerobia para el tratamiento de aguas residuales municipales .* Obtenido de
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01405e14.pdf>
- MUÑOZ, M. (2011). *Producción e Industrialización de Café Soluble.* GUAYAQUIL-ECUADOR.
- N, R. V. (2013). *CENICAFE.* Obtenido de
http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_subproductos
- NUÑEZ, G. D. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana.* BOGOTA-COLOMBIA.
- PRO ECUADOR. (2013). *ANALISIS SECTORIAL DEL CAFÉ .* QUITO .
- Puerta Quintero , G. I. (Diciembre de 2011). *Composición química de una tasa de café.*
 Obtenido de Cenicafe: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>

Ramalho, R. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales*.

RAQUEL G. G., S. M. (2004). PERFILES DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN UN REACTOR UASB (REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE Y MANTO DE LODOS) UTILIZADO PARA EL TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS CLOACALES PRE-SEDIMENTADOS. *INENCO*, 6.

Ricardo Camacho, H. S. (2017). *Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos*.

Rio, R. S. (2014). *Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica 2*.

RODRIGUEZ SUYEN, P. R. (2003). *Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café*. CARACAS-VENEZUELA.

RODRIGUEZ, A. (2014). *TRATAMIENTO ANEROBIO DE AGUAS RESIDUALES*. CALI-COLOMBIA.

Rodríguez, S. &. (2000). Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.

Rodríguez, S. P. (2000). *Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café*.

ROSA BERMUDEZ, S. R. (2015). *VENTAJAS DEL EMPLEO DE REACTORES UASB EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUALES LIQUIDOS PARA LA OBTENCION DE BIOGAS*. SANTIAGO DE CUBA-CUBA.

Rovira, J. (2014). *El cafe soluble*.

Salazar. (2012). *ESTIMACION DEL VOLUMEN DE LAS AGUAS RESIDUALES*.

Sánchez Maroto, M. (Junio de 2015). *El café, la cafeína y su relación con la salud y ciertas patologías*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/14253/1/TFG-M-N370.pdf>

Sanchez, G. M. (1996). *Digestión anaerobia*.

Silva, J. (05 de Noviembre de 2002). *Tecnología del biogas*. Obtenido de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>

TORRES ESTHELA, A. R. (2012). *ANALISIS SENSORIAL DEL CAFE EN LA ZONA 7 DEL ECUADOR*.

LOJA: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2703/1/338X1227.pdf>.

TYRONE ALCIVAR REYNA. (2014). *AGUAS RESIDUALES*.

Ugrenovic. (1997). taninos. 20.

VASQUEZ, A. (2011). *ELCAFE: NUEVAS APLICACIONES EN 15 RECETAS DE SAL Y DULCE*.

ECUADOR- CUENCA:

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3269/1/TESIS.pdf>.

4.4 ANEXOS



Figura 14. Fuente del inóculo



Figura 15. Obtención del inóculo



Figura 16. Preparación del potenciómetro



Figura 17. Obtención de a muestra de pH



Figura 18. Preparación del ácido para titulación



Figura 19. Medición del desplazamiento de metano

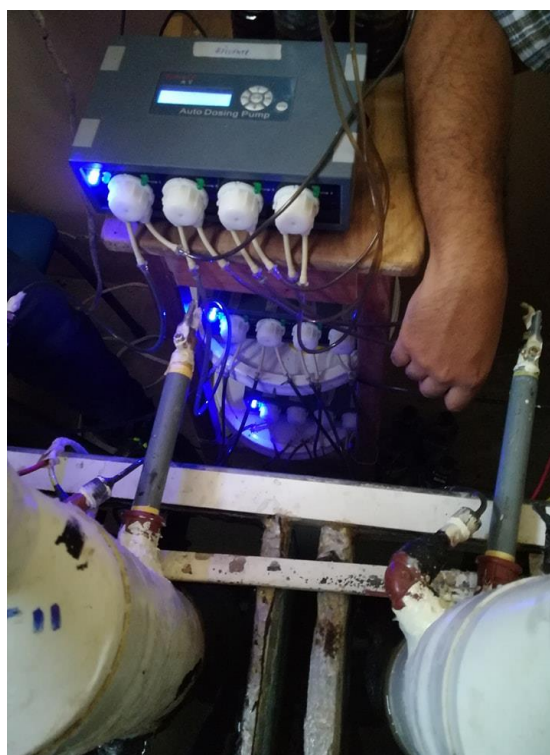


Figura 20. Bombas Peristálticas



Figura 21. Recolocación del Hidróxido



Figura 22. Digestor anaerobio