



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE PROCESOS
METANOGÉNICOS A PARTIR DE EFLUENTES DE
EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ

TUTOR: ING. CAMILO HARO

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Jairo Israel Tigse Sánchez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: :
“GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE PROCESOS METANOGÉNICOS A PARTIR DE EFLUENTES DE EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”, de responsabilidad del señor: Jairo Israel Tigse Sánchez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Camilo Haro

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dra. Yolanda Díaz

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Jairo Israel Tigse Sánchez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 28 de Marzo del 2018

Jairo Israel Tigse Sánchez

220005518-0

Yo, JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ

DEDICATORIA

Soy privilegiado pues Dios me ha premiado con mi Querida Familia, es a ellos a quien hoy quiero dedicar esta victoria, pues cada uno de ustedes me ha enseñado que con mucho esfuerzo y sacrificio se logran cumplir las metas que uno se proponga.

Especialmente dedicado a mis padres por ser ejemplo de dedicación y trabajo, veo que los años pasan y el momento de retribuir todo ese amor infinito es hoy, que su mano nunca suelte la mía y su bendición nunca me falte, ellos junto a mis hijos son el principal motor de mi vida, los amo con todo mi corazón.

Jairo

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a mis formadores, personas con gran sabiduría quienes se han esforzado por brindar lo mejor y a los miembros de mi tribunal.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y tener una afable titulación.

Circunstancias de la vida hoy nos separan, pero agradezco a aquella persona que en su momento estuvo a mi lado, fue mi añorada consejera y horizonte a seguir.

Jairo

ÍNDICE DE ABREVIATURA

S.A	Sociedad Anónima
LABSU :	Laboratorio de Suelos y Plantas
pH	Potencial Hidrógeno
ST	Sólidos Totales (mg/L ⁻¹)
STV	Sólidos Totales Volátiles (mg/L ⁻¹)
SS	Sólidos Suspendidos (mg/L ⁻¹)
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L ⁻¹)
DQO	Demanda Química de Oxígeno (mg/L ⁻¹)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L ⁻¹)
CTB	Cámara Total de Biogás (L)
VT	Volumen Total (L)
VB	Volumen de Biogás (L)
CRG	Cámara de Recolección de Biogás

TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRAFICOS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.	1
Justificación.	2
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
General:.....	3
Específicos:	3
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2 Fundamento Teórico.....	5
1.2.1. Biomasa.....	5
1.2.1.1. Clasificación de la biomasa o materia orgánica	5
1.2.1.2. Procesos de transformación de la biomasa para la producción energética.....	6
1.2.2. Efluentes.....	7
1.2.2.1. Tratamiento de efluentes o aguas residuales	7

1.2.3. Biorreactor	9
1.2.3.1. Tipo de Biorreactores.....	9
1.2.3.2. Partes fundamentales de un biodigestor	10
1.2.3.3. Ventajas del uso de biodigestores discontinuos	11
1.2.3.4. Consideraciones de construcción de un biodigestor	12
1.2.4. Biogás.....	13
1.2.4.1. Composición del biogás	14
1.2.4.2. Características del biogás	14
1.2.4.3. Purificación o acondicionamiento del biogás.....	15
1.2.4.4. Mecanismos de producción del biogás.....	17
1.2.5. Palma	18
1.2.5.1. Taxonomía y morfología de la palma	18
1.2.5.2. Proceso de extracción del aceite de palma	19
1.2.6. Efluentes de la industria palmicultora.....	20
1.2.6.1. Características de los efluentes de la industria palmicultora.....	21
CAPÍTULO II	23
2. MARCO METODOLÓGICO EXPERIMENTAL.	23
2.1 Localización y características de la extractora.....	23
2.1.1. Localización del proyecto	23
2.1.2. Características de la extractora.....	24
2.2. Metodología	25
2.2.1. Determinación de Caudales de aforo	25
2.2.2. Muestreo y caracterización del efluente.....	26

2.2.3. Determinación de parámetros in-situ	27
2.2.4. Determinación de parámetros ex-situ.....	27
2.2.5. Índice de Biodegradabilidad.	28
2.2.6. Diseño y construcción de un biorreactor a escala piloto	29
2.2.6.1. Selección del modelo del biodigestor.	29
2.2.6.2. Dimensionamiento del biodigestor a escala piloto.....	30
2.2.6.3. Construcción del biorreactor a escala piloto	32
2.2.7. Caracterización biogás obtenido	37
CAPÍTULO III.....	37
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1. Análisis del efluente.....	38
3.2. Dimensionamiento del biorreactor a escala piloto.	40
3.3. Producción de biogás	40
3.4. Análisis final del efluente tratado.	42
3.5. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma.	43
3.6. Caracterización del biogás obtenido	45
3.7. Propuesta de diseño.....	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
Figura 1-1. Depuradora de aguas residuales.	8
Figura 2-1. Biodigestor de tipo discontinuo.....	10
Figura 3-1. Mecanismos de producción de Biogás.	17
Figura 4-1. Mecanismos de producción de Biogás.	20

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pp.
Gráfico 1-2. Ubicación geográfica de la extractora de aceite de palma “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”	24
Gráfico 1-3. Producción de biogás en litros pordía.....	41
Gráfico 2-3. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma	44

ÍNDICE DE TABLAS

	Pp.
Tabla 1-1. Factores que permiten la obtención de biogás.	13
Tabla 2-1. Composición Química del Biogás	14
Tabla 3-1. Valor energético del Biogás.....	15
Tabla 4-1. Condiciones del biogás previo a su aplicación	16
Tabla 5-1. Características del efluente procedente de la industria palmicultora.....	21
Tabla 1-2. Localización geográfica del cantón Francisco de Orellana	23
Tabla 2-2. Parámetros pre-tratamiento.....	28
Tabla 3-2. Relación entre parámetros DBO5 y DQO	28
Tabla 4-2. Materiales utilizados	33
Tabla 5-2. Parámetros operacionales del biodigestor tipo Batch.	35
Tabla 6-2. Matriz para el registro de la producción de biogás por día.....	36
Tabla 7-2. Parámetros para caracterización de biogás.	37
Tabla 1-3. Determinación de caudales.....	38
Tabla 2-3. Caracterización inicial del efluente.....	38
Tabla 3-3. Dimensiones reactor tipo Batch escala piloto.....	40
Tabla 4-3. Producción de biogás en litros por día.....	40
Tabla 5-3. Análisis final del efluente.	42
Tabla 6-3. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma.....	43
Tabla 7-3. Caracterización del biogás obtenido	46

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pp.
Fotografía 1-2. Medición del caudal de ingreso al sistema de biorremediación.....	26
Fotografía 2-2. Muestreo del efluente.....	26
Fotografía 3-2. Medición de parámetros in-situ del efluente.....	27
Fotografía 4-2. Limpieza y preparación del área seleccionada para la construcción.....	33
Fotografía 5-2. Construcción de la caseta para la producción de biogás.....	33
Fotografía 6-2. Construcción del biorreactor.....	34
Fotografía 7-2. Construcción de la caseta para la producción de biogás.....	35
Fotografía 8-2. Obtención del biogás a escala piloto.....	35

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en generar biogás mediante procesos metanogénicos de los efluentes producidos en la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, ubicada en el cantón Francisco de Orellana, misma que basa su actividad comercial en la extracción del aceite de palma bruto. Una de las principales preocupaciones del sector palmicultor es la depuración de los efluentes provenientes de los procesos de extracción, pudiéndose utilizar para la producción de biogás que solventaría parte de las necesidades energéticas de la empresa. Para la producción del biogás fue necesario realizar la caracterización de los efluentes y el ensamblado de un biorreactor tipo Batch con una capacidad de 20 L, siendo monitoreado durante 60 días, tiempo necesario para el desarrollo del proceso metanogénico. Entre los resultados obtenidos se tuvo que la producción del biogás durante la fase experimental fue de 43 litros, observándose una producción continua a partir del día 21. El biogás producido presenta una concentración del 57.5% de CH₄, 39.9% de CO₂ y un 2.6% de otros gases. Al finalizar con la experimentación se realizó la caracterización del efluente utilizado, observándose una reducción tanto de la DBO, DQO, NTK, SST, SSV, ST y STV en el orden del 91%, 84.5%, 57.6%, 87%, 93%, 87% y 84% respectivamente. En conclusión se estableció que la generación del Biogás a partir de los efluentes de la industria palmicultora, la convierte en una alternativa para la reducción del consumo energético (energía eléctrica) a nivel de la empresa, contribuyendo además con la reducción de los niveles de contaminación presentes en los efluentes.

Palabras clave: <TECNOLOGIAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <BIOGÁS>, <BIORREACTOR>, <EFLUENTE>, <BIOENERGÍA>, <PALMA AFRICANA>, <FRANCISCO DE ORELLANA PROVINCIA>.

ABSTRACT

The present graduation work consists of generating biogas through methanogenic processes of the effluents produced in the extractor “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RIO COCA SA”, located in the Francisco de Orellana canton which bases its commercial activity on the raw palm oil extraction. One of the main concerns of the palm culture sector is the depuration of the effluents from the extraction process, which can be used for biogas production solving this way part of the energy needs of the enterprise. For the biogas production, it was necessary to carry out the characterization of the effluents and the assembly of a batch type bioreactor with a capacity of 20 L, being monitored during 60 days, a necessary time for the methanogenic process development. Among the results it was found out that the biogas production during the experimental phase was 43 L observing a continuous production from day 21. The biogas produced presents a 57.5% concentration CH₄, 39.9% CO₂ and 2.6% of other gases. Upon finishing the experimentation the characterization of the effluent used was carried out, observing a reduction of DDO, DQO, NTK, SST, SSV, ST and STV in the order of 91%, 84.5%, 57.6%, 87%, 93%, 87% and 84% respectively. As a conclusion, it was established that the generation of the biogas from the effluents of the palm industry makes it an alternative for the energy consumption reduction (electric energy) at the enterprise level, contributing, moreover, to the reduction of the contamination levels present in the effluents.

KEY WORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <BIOTECHNOLOGY>, <BIOGAS>, <BIOREACTOR>, <EFLUENT>, <BIOENERGY> <AFRICAN PALM>, <FRANCISCO DE ORELLANA PROVINCE>

INTRODUCCIÓN.

Situación problemática

En la actualidad, las políticas mundiales contemplan la protección del medio ambiente y la búsqueda de alternativas de producción de energías limpias, obteniendo como resultado una mejora en la calidad de vida de sus pobladores.

Ante esta realidad, la producción de biocombustibles se ha convertido en un tema de gran interés, siendo uno de los procesos que ha venido desarrollándose con mayor fuerza en los últimos años, donde la necesidad de generar energía limpia a base de residuos y efluentes, lo convierte en una alternativa tanto para industrias como para municipalidades. La generación de biogás es una potencial fuente energética para la industria agroalimentaria, donde a su vez se generan residuos sólidos que pueden ser reutilizados como abonos para la recuperación de suelos empobrecidos, una vez que hayan sido estabilizados.

En el Ecuador, el sector palmicultor es uno de los mayores contaminantes, debido a que durante el proceso de extracción del aceite de palma, se generan y descargan al ambiente efluentes con elevada carga contaminante. Durante las diferentes etapas del proceso de extracción del aceite crudo de palma (esterilización, clarificación, purga de calderas), se generan considerables volúmenes de aguas residuales que presentan elevados niveles de temperaturas, además de considerables concentraciones de DBO, DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos, grasas y aceites, entre otros; provocando graves impactos en los cuerpos de agua donde se descargan los mismos.

Frente a lo antes expuesto, podemos decir que la generación de aguas provenientes de la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, presentan concentraciones elevadas de contaminantes, que al ser descargados en cuerpos de agua sin tratamiento alguno, provocan considerables impactos sobre la flora y fauna del medio; además de alterar la calidad del recurso hídrico, debido principalmente a la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, a los aportes de materia orgánica y al incremento de la temperatura del agua.

Justificación.

La matriz energética del Ecuador se sustenta en el aprovechamiento de la energía proveniente de fuentes renovables (Hidráulica, Eólica y Solar) y no renovables (Petróleo y derivados), siendo la industria petrolera la que mayor impacto genera sobre el ambiente. Frente a esto, es importante la búsqueda de alternativas para suplir parte de las necesidades energéticas mediante el aprovechamiento de los residuos de diferentes actividades industriales, como por ejemplo procesos biotecnológicos.

En la industria palmicultora se generan grandes impactos ambientales que se derivan del ciclo de producción del aceite de palma (cultivo, extracción, refinamiento y comercialización de aceite); los mismos que están ligados con un incremento sustancial de la tasa de deforestación, pérdida de biodiversidad, contaminación del aire, agua y suelo (Obidzinski, 2012).

Los efluentes generados en el sector palmicultor contienen elevados niveles de materia orgánica; y que, mediante procesos anaerobios, pueden ser aprovechados para la producción de biogás. Este tipo de tecnología viene siendo utilizada en diversos lugares, tal es así que en países como Colombia y Malasia, las industrias dedicadas a esta actividad, aprovechan el gas producido para reducir el consumo energético de las mismas.

El presente estudio tiene como finalidad aprovechar los residuos y efluentes generados en los diferentes procesos de la empresa “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, para la producción de biogás y abonos, mismos que pueden ser reutilizados como fertilizantes en los suelos utilizados para el cultivo de la Palma africana y en la producción de electricidad al interior de la planta, lo cual reducirían el consumo energético a nivel de la empresa y contribuiría sustancialmente con la mejora del ambiente.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General:

- Generar biogás mediante procesos metanogénicos en la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, a partir de los efluentes producidos en los procesos de extracción del aceite de palma.

Específicos:

- Construir un biorreactor a escala piloto para la producción del biogás.
- Caracterizar el efluente a utilizar al inicio y al final del tratamiento, para la producción de biogás.
- Determinar las condiciones operativas del biorreactor, en relación al volumen y la caracterización del biogás obtenido.
- Generar una propuesta de un biorreactor; en base a los resultados obtenidos en el estudio realizado.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

El biogás es considerado como un tipo de combustible que se origina por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica procedente de diferentes actividades, pudiéndose reutilizarlo para la producción de electricidad mediante generadores adaptados para el aprovechamiento del gas. De acuerdo con el Instituto para la diversificación y ahorro de energía, (2007), la composición del biogás depende principalmente del tipo de material utilizado y de la tecnología aplicada para la digestión de los residuos; por lo que el contenido de metano estaría entorno al 55 y 70%; el de dióxido de carbono entre el 30 y 45% y el de las impurezas alrededor del 5%.

De acuerdo con Gutiérrez, (2012), el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos provenientes de diferentes actividades antrópicas, pueden ser reutilizadas para la producción de biocombustibles; lo que favorecería al sector industrial debido que abarataría los costos del manejo de residuos y de consumo energético.

Es importante señalar que el biogás es una excelente alternativa para la producción de energía, convirtiéndola en una tecnología sustentable que permite la disminución de desechos biodegradables mediante procesos metanogénicos, demostrando a su vez la factibilidad de la propuesta presentada en vista que se enfoca principalmente en mejorar el ambiente a través de la optimización de la carga orgánica presente en los efluentes de la industria palmicultora, particularmente en la Extractora Extractococa Río Coca S.A.

De acuerdo con Fúquene y Ramírez, (2012), en un estudio realizado sobre el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de la ciudad de Bogotá, se definieron ciertos parámetros de funcionamiento de un biorreactor para la generación de biogás mediante procesos anaerobios, en el que los tiempos de retención, y temperatura en zonas tropicales, estarían

entorno a los 20 días y 30 °C respectivamente, lo cual permitiría la generación de biogás y bioabono que puede ser utilizado en diferentes procesos de producción.

Según Guasumba, (2011), la reducción de los tiempos para la producción de metano, podría disminuirse a través de la implementación de celdas fotovoltaicas, puesto que incrementarían la temperatura del reactor, ayudando a la degradación de la biomasa presente en el mismo.

El desarrollo del presente proyecto permitió aprovechar la carga orgánica existente en las aguas residuales de la industria Extractora Extractococa Río Coca S.A, para la producción de biogás, evitando la contaminación de los cuerpos hídricos receptores y reduciendo el consumo energético al interior de la planta.

1.2 Fundamento Teórico.

1.2.1. Biomasa

Se la conoce como la materia orgánica generada por organismos vivos, como resultados de procesos autótrofos y heterótrofos (Inca, 2016).

1.2.1.1. Clasificación de la biomasa o materia orgánica

De acuerdo con Méndez, (2015), la biomasa se clasifica en dos grandes grupos, que se detallan a continuación:

- **Biomasa natural:** Aquella que se produce en ecosistemas naturales y que son producidas sin la intervención del ser humano, siendo las principales fuentes los residuos forestales como: derivados de limpieza de bosque, restos de plantaciones, leñas, ramas, coníferas, y frondosas (Méndez, 2015).
- **Biomasa residual:** Son los residuos generados de las diferentes actividades antrópicas que utilizan materia orgánica. Actualmente, su disposición final representa un serio problema debido a la cantidad y a los espacios de almacenamiento, que involucran además costos debido al transporte y al tratamiento de estos, siendo estos de tipo domiciliario, industrial, agrícola y energético (Méndez, 2015).

Entre los principales residuos generados tenemos los siguientes:

- **Residuos agrícolas:** Son aquellos desechos que no se utilizan para la alimentación del ser humano y animales, por lo que son manipulados para la formación de biomasa con fines energéticos. Estos excedentes agrícolas pueden ser utilizados como combustibles en plantas de generación eléctrica como además en biocombustibles, mediante procesos de descomposición de residuos celulósicos y lignocelulósicos (RENOVETEC, 2013).
- **Residuos industriales:** Son el resultado de los procesos productivos de una determinada empresa, donde dependiendo del tipo de producto que se procesan pueden ser reciclados, reutilizado o desechados (Aristizabal, et al., 2001).
- **Residuos domiciliarios:** Son aquellos que provienen de domicilios, restaurantes o de actividades comerciales (Aristizabal, et al, 2001).
- **Residuos energéticos:** Son residuos generados de cultivos de cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas, entre otras; y que, de acuerdo con su utilidad, pueden ser aprovechados para la producción de bioetanol y bioles (RENOVETEC, 2013).

1.2.1.2. Procesos de transformación de la biomasa para la producción energética

La biomasa generada de diferentes procesos antrópicos puede ser reutilizada para la producción de energía, tal como lo mencionan Faba, et al., (2014). Entre dichos procesos se pueden mencionar los siguientes:

- **Producción de calor y vapor.** Está supeditada a la combustión de biomasa con fines de cocción de alimentos o para la calefacción; técnica que ha sido utilizada desde tiempos memoriales. En América Latina, este proceso es muy común en la industria azucarera, donde es posible aprovechar los desechos para la generación de calor y vapor, gracias al elevado poder calorífico que presenta el bagazo de caña. En los últimos años, se han realizado mejoras para optimizar dichos residuos.
- **Producción de biocombustibles.** La biomasa generada sobre todo en la industria alimentaria ha sido sujeta de investigaciones, relacionadas con la producción de etanol y biodiesel, las mismas que se obtienen a través de procesos de fermentación, siendo una alternativa para suplir en parte la demanda de combustibles fósiles.

1.2.2. Efluentes

Son residuos de tipo sólido, líquido y/o gaseoso que se generan como producto de las diferentes actividades antrópicas, y son descargados a la atmósfera, al suelo o hacia un cuerpo de agua. (Jaureguiberry, 2012). Entre los principales efluentes tenemos las aguas residuales que pueden ser de origen doméstico, comercial e industrial, siendo esta última la que mayor impacto genera a nivel ambiental. El agua que inicialmente ingresa a un determinado proceso presenta diferentes características en relación con el efluente que sale del mismo, debido que se incorporan una serie de contaminantes previo a la obtención de un producto final; afectando a los cuerpos hídricos cuando son descargados al medio (Noyola, 1995).

En el Ecuador, el tratamiento de aguas residuales de origen industrial y municipal es deficiente, debido principalmente a los costos de implementación de los sistemas de tratamiento y al incumplimiento de las políticas públicas relacionadas con la conservación del ambiente, por ende, es necesario la implementación de plantas de tratamiento que mejoren la calidad del agua a ser descargada (Salazar, 1999).

1.2.2.1. Tratamiento de efluentes o aguas residuales

Para el tratamiento de aguas residuales, se realizan una serie de procesos con la finalidad de reducir la carga contaminante presente en las mismas, entre los cuales tenemos:

- **Físicos:** consisten en el tratamiento de las aguas sin generar alteración al nivel químico del mismo, principalmente en dichos procesos se produce la remoción de sólidos de gran tamaño que pueden generar problemas en los procesos operativos de los sistemas de tratamiento, entre los cuales tenemos: sistemas de rejillas y tamices, desarenadores, entre otros.
- **Químicos:** son procesos en los cuales se genera la adición de un agente químico que produce la desestabilización de ciertas partículas del agua al mismo tiempo que modifica sus características químicas, como por ejemplo tenemos el proceso floculación-coagulación, la desinfección, entre otros.
- **Biológicos:** son procesos en los cuales se aprovecha la carga microbiana de las descargas para la reducción del contenido de materia orgánica presente en las mismas, pudiendo ser utilizadas para la producción de energía como también para la producción de fangos que posteriormente pueden servir para los procesos de compostaje (Moreno, 1988).

Uno de los principales tratamientos de las descargas municipales o industriales es la digestión anaerobia, que consiste en un método biológico que permite la generación de biogás o abonos, producto de la descomposición por vía metanogénica de la materia orgánica; convirtiéndola en una tecnología sustentable que se empezó a desarrollar a inicios de los años 70. El modelo de desarrollo ambiental y la creciente necesidad recuperar sitios contaminados, permitió la implementación de biodigestores para la conversión de materia orgánica en biogás, el mismo que puede ser utilizado para la producción de energía eléctrica (Noyola, 1995).

Como se detalla en la figura 1.1, una planta de tratamiento convencional se encuentra constituida por un sistema de pretratamiento, procesos primarios, secundarios y terciarios, donde se darán las condiciones para la remoción de diferentes contaminantes presentes en los efluentes. Entre los procesos terciarios, la digestión anaerobia es una alternativa para la producción de biogás, el mismo que puede ser utilizado con fines energéticos, pudiéndose aprovechar al interior de la planta.



Figura 1-1. Depuradora de aguas residuales.

Fuente: Saval, (1998)

En síntesis, la depuración de aguas residuales combina procesos físicos, químicos y biológicos para garantizar el cumplimiento de la normativa y la evacuación de los efluentes hacia cuerpos hídricos receptores.

1.2.3. Biorreactor

Es un dispositivo que se encarga de la transformación por vía biológica de un determinado sustrato. Estructuralmente es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico susceptible a degradación (fermentación), pudiendo ser estas excretas de animales y humanos, desechos vegetales, entre otros. La materia orgánica que degradar se encuentra en fase acuosa, lo que favorece los procesos fermentativos, dentro del cual se producirán gases, y diferentes productos como abonos, bioles, alcoholes, entre otros (Phillips, 2007). La estructura y diseño de un biorreactor dependerá de las condiciones del efluente, así como de las variables ambientales a las cuales va a estar expuesto el biodigestor. Su principal función se centra en la producción de abonos, biogás, medicinas, alimentos, entre otros (Zúñiga, 2007).

1.2.3.1. Tipo de Biorreactores

Biodigestor de tipo continuo

Son dispositivos que presentan un flujo constante tanto al ingreso como a la salida del sistema, se aplica principalmente para la depuración de aguas residuales provenientes de procesos industriales. En general, son diseños que demandan la adaptación de una serie de accesorios que favorezcan la alimentación de un determinado sustrato, la homogenización del medio y el control de temperaturas para su óptimo funcionamiento. Este tipo de plantas son aprovechadas en la industria alimenticia, farmacéutica y de igual manera en la producción energética a gran escala (Soliari, 2004).

Biodigestor de tipo semi-continuo

Es un digestor utilizado sobretodo en el sector rural, el cual presenta una alimentación semicontinua, donde se utiliza los residuos provenientes de fincas o haciendas para la producción de biogás. Los diseños más populares son el biodigestor hindú y el biodigestor chino, que pueden ser enterrados o semienterrados. La alimentación se produce por gravedad una vez al día, lo que garantiza la producción diaria de biogás, misma que puede ser continua si las condiciones operativas se mantienen estables (Soliari, 2004).

Biodigestor de tipo discontinuo

También conocido como biodigestor Batch (Figura 2-1), consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o para verificar el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas (Soliari, 2004).

Este biodigestor tiene únicamente una válvula de acceso por donde se carga y se descarga el sustrato, en el que una vez llenado, genera una fermentación, mismo que tendrá un periodo de 2 a 4 meses, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre expuesto. La descarga del sustrato se dará únicamente cuando el proceso de fermentación se dé por concluido.



Figura 2-1. Biodigestor de tipo discontinuo.

Fuente: Rotoplas, (2016)

1.2.3.2. Partes fundamentales de un biodigestor

Las principales partes de un biodigestor son las siguientes:

- **Válvula de ingreso y salida.** Es la apertura del recipiente (plástico) por el cual ingresa el sustrato. En otros diseños sería un depósito cuadrado o cilíndrico donde se recibe el material orgánico, en el cual se realiza la mezcla con agua, para obtener un sustrato óptimo para la fermentación.
- **Cámara de fermentación.** Es el sitio en el cual se dará la degradación del sustrato en ausencia de oxígeno, con tiempos de retención prolongados para favorecer la fermentación, generando finalmente biogás y bioles.
- **Captura del Biogás.** Lugar donde se almacena el biogás producido a lo largo del proceso, siendo esta de manera espontánea según como se desarrolle la fermentación (López, 2010).
- **Mezclador.** Mecanismo por el cual se genera la homogenización del sustrato mientras se da lugar al proceso de la degradación de la materia orgánica.
- **Filtro.** Lugar por donde pasa el biogás proveniente de la cámara de fermentación, el mismo que permite la retención de vapor de agua y de CO₂.
- **Filtro de Limaduras de Hierro.** Lugar donde se captura el H₂S proveniente de la cámara de fermentación, el cual oxidará las limaduras de hierro para favorecer la purificación del biogás generado (Azniidris, 1995).

1.2.3.3. Ventajas del uso de biodigestores discontinuos

Entre las principales ventajas de la utilización de biodigestores discontinuos tenemos:

- Ocupa un menor volumen en relación a un reactor continuo, debido a la alta concentración de materia orgánica presente en el sustrato (40 – 60%).
- Ocupa una cantidad menor de agua en relación a los digestores continuos y semi continuos (Reducción del 60 a 80%)
- No forman incrustaciones, por lo que la agitación diaria no es obligatoria.
- No sufre variaciones elevadas de temperatura.
- Se requiere de poca mano de obra, puesto que la alimentación y purga del sistema se lo realiza cada 2 a 3 meses.
- El sólido remanente del proceso de fermentación puede utilizarse como un bioabono para la preparación y recuperación de suelos.
- La corrosión de las tapas de los digestores es menor, debido a que éstas están insertas en un sello de agua.
- No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica.

- Se puede construir sobre el suelo o semi enterrado. Es ideal para localidades con un nivel freático superficial o terrenos rocosos.

1.2.3.4. Consideraciones de construcción de un biodigestor

De acuerdo con Hilbert, et al., (2007) existen factores que se deben tener en cuenta al realizar la implementación de esta tecnología, pues pueden resultar limitantes en muchos lugares, debido a que se debe contar con sitios adaptados para la recolección de las materias primas, transporte y acondicionamiento, almacenamiento del biogás, además del almacenamiento del efluente, transporte y uso.

Consideraciones en cuanto al lugar.- La elección del sitio donde se ubica un digestor es de gran importancia pues incide sobre el éxito o el fracaso de la operación del sistema. Hay que tener en cuenta las siguientes premisas para escoger el lugar adecuado:

- Debe estar cerca del lugar donde se consumirá el gas, pues las tuberías son caras y las presiones obtenibles no permiten el transporte a distancias mayores de 30 metros.
- Se debe encontrar cercano al lugar donde se recogen los desperdicios para evitar el acarreo, que tarde o temprano atentará contra una operación correcta del biodigestor e implicará mayores costos.
- Debe estar en un lugar cercano al de almacenamiento del efluente y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo.
- Debe estar a por lo menos 10 – 15 metros de cualquier fuente de agua para evitar posibles contaminaciones.
- Debe ubicarse preferentemente protegido de vientos fríos y donde la temperatura se mantenga estable (Varnero, 2011).

Consideraciones en cuanto al tipo de biodigestor.- Esta decisión debe tomarse considerando los siguientes criterios:

- Inversión económica que realizarse.
- Producto que obtenerse.

- Tipo y cantidad de biomasa que se va a requerir.
- El tamaño del digestor (Varnero, 2011).

1.2.4. Biogás

El biogás es un gas compuesto por metano y dióxido de carbono, tiene mínimas proporciones de otros gases como el hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. Es liviano en relación al aire, y posee una temperatura de combustión promedio de 700 °C, donde la llama puede alcanzar una temperatura de 870 °C (Guardado, 2010).

Este es un gas producido por bacterias durante un proceso de biodegradación de materia orgánica en condiciones de total anaerobiosis. La generación de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono, puesto que se produce por bacterias metanogénicas, que son el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan materia orgánica (Mandujano, 1981).

El biogás puede proporcionar una fuente limpia de energía, y permite el aprovechamiento de residuos orgánicos que por falta de una cultura ambiental, se tienden a desechar, generando energía renovable que puede ser aprovechada en los hogares, granjas o a nivel industrial. La producción de este gas se convierte en una alternativa al consumo de combustibles fósiles (Harris, 2014).

Según, Appels, (2008), los factores que inciden en la producción de biogás son los siguientes: véase tabla 1-1

Tabla 1-1. Factores que permiten la obtención de biogás.

SUSTRATO	PROCESO	DIGESTOR
	Parámetros de control	Condiciones
Concentración de materia orgánica Composición de la materia orgánica	Temperatura Tiempo de retención pH Velocidad e intensidad de agitación	Anaeróbicas

Fuente: Appels, (2008)

1.2.4.1. Composición del biogás

La composición del biogás se encuentra determinada de acuerdo al tipo de biomasa utilizada y las condiciones ambientales en que se produce; sin embargo todo biogás tiene como principales componentes el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

El metano es el principal compuesto del biogás y este le otorga las características inflamables que posee, es un gas muy combustible, incoloro e inodoro, cuya combustión genera una llama de color azul, además emite elementos prácticamente no contaminantes (Revolorio, 2010).

Tabla 2-1. Composición Química del Biogás

COMPONENTES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE
Metano	CH ₄	60 – 70
Bióxido de Carbono	CO ₂	30 – 40
Hidrógeno	H ₂	Hasta 0.1
Nitrógeno	N ₂	0.5 – 3
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: Albarracín, (1995)

1.2.4.2. Características del biogás

El biogás está compuesto por alrededor de 60% de Metano (CH₄) y 40% de Dióxido de Carbono (CO₂), además de otros componentes en mínimas cantidades, siendo el más importante el ácido sulfhídrico (H₂S) con cerca de un 0.1%. La cantidad de metano presente en el biogás depende principalmente de la temperatura de fermentación, donde a bajas temperatura se obtiene una mayor concentración, pero la cantidad es menor (Dibiaci, 2004).

Realizándose la comparación del biogás con otros gases orgánicos, se puede observar que la capacidad calórica es menor en relación con el metano y propano; además la temperatura de combustión será mayor a los antes citados. Véase tabla 3-1

Tabla 3-1. Valor energético del Biogás

Valores	Unidades	Biogás	Gas natural	Gas propano	Gas Metano
Capacidad calórica	Kwh/m ³	7.0	10	26	10
Densidad	t/m ³	1.08	0.7	2.01	0.72
Densidad con respecto al aire		0.81	0.54	1.51	0.55
Límite de explosión	% de gas en el aire	6-12	5-15	2-10	5-15
Temperatura de encendido		687	650	470	650
Máxima velocidad de encendido en el aire	m/s	0.31	0.39	0.42	0.47
Requerimiento teórico de aire	m ³ /m ³	6.6	9.5	23.9	9.5
Composición promedio del biogás: CH ₄ (65%) – CO ₂ (35%)					

Fuente: Appels, (2008)

1.2.4.3. Purificación o acondicionamiento del biogás

El biogás (CH₄ - CO₂) presenta partículas y trazas de otros gases, por lo que la purificación del mismo es importante por dos razones principales: la primera que incrementa el poder calorífico del biogás y, la segunda aumenta el grado de pureza del mismo, siendo necesaria para la aplicación en procesos de combustión (motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc.). Véase la tabla 4-1 (Guardado, 1990).

Tabla 4-1. Condiciones del biogás previo a su aplicación

Aplicación	H₂S	CO₂	H₂O	Rastro
Calentador	< 1000 ppm	Ausente	Ausente	Si (siloxanos)
CHP	< 1000 ppm	Ausente	Evitar condensación	Si (siloxanos)
Combustible para vehículo	Presente	Presente	Presente	Presente
Red de distribución de gas	Presente	Presente	Presente	Presente

Fuente: Appels, (2008)

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Existen diversos métodos de purificación del biogás, entre los cuales tenemos que la absorción o adsorción son los más comunes, siendo estos aplicados a presiones altas, debido que a condiciones normales únicamente una fracción de agua es eliminada. Otra metodología para realizar dicho proceso es la separación en membranas semipermeables a manera de filtro (Col, 2011).

La absorción utiliza alúmina o zeolitas como tamices moleculares o también llamados tamices de lecho seco, mismos que permiten un adecuado intercambio de iones y la deshidratación del biogás. Otros componentes sólidos utilizados son el carbón activado y la silicagel (Llaneza, 2010), mismos que vienen detallados a continuación:

- a) **Secado por adsorción de vapor de agua sobre componentes químicos (silicagel, alúmina).**- En este método el agua presente en el biogás se elimina mediante el ingreso del gas a través de una columna recubierta de silicagel (grado 710 y entre 4 y 20 mesh). Se utiliza de manera paralela dos columnas, donde se lleva a cabo tanto la absorción del agua como la regeneración de esta, lográndose la evaporación del agua mediante la descompresión y el calentamiento (Pinjing, et al., 2001).

- b) **Absorción de agua con compuestos inorgánicos (sales higroscópicas).**- En este caso, la absorción del vapor de agua proveniente del biogás se da por el contacto con una sal higroscópica, de manera que la solución saturada de sal se deposite en la parte inferior del recipiente. Es importante realizar continuos controles en la cantidad de sal utilizada para continuar con el proceso, puesto que la sal se disuelve de manera continua (Fernandez, 2004).

- c) **Eliminación in situ del sulfuro de hidrógeno.**- Según Fernandez, (2001) el H₂S puede ser tratado directamente en el tanque o recipiente del biorreactor. La adición de aire puro o a su vez oxígeno provoca la oxidación del sulfuro a azufre elemental o forma sulfuro metálico insoluble mediante la reacción con un ion metálico.

La oxidación biológica aerobia de H₂S descrita como primera alternativa, es llevada a cabo por un grupo de organismos especializados denominados *Thiobacillus*, los cuales utilizan el CO₂ como fuente de carbono. La formación de sulfuro metálico es catalizada por microorganismos azufroxidantes (BSO), el cual se da comúnmente en la cúpula del digestor o cerca de la interfaces gas-líquido, dando paso a la formación de azufre molecular y agua, inclusive puede llegar a formarse sulfato si la oxidación del azufre es completa (Kohl, 1997).

1.2.4.4. Mecanismos de producción del biogás

El gas metano se obtiene principalmente a partir de desechos orgánicos, los cuales son sometidos a una fermentación con microorganismos metanogénicos, donde la materia orgánica es degradada en gas metano. La adecuación o construcción de un biodigestores deberá garantizar las condiciones operativas para la producción del gas, en el que se controlen tanto la temperatura como los tiempos de agitación, tal como se muestra en la Figura 3-1.

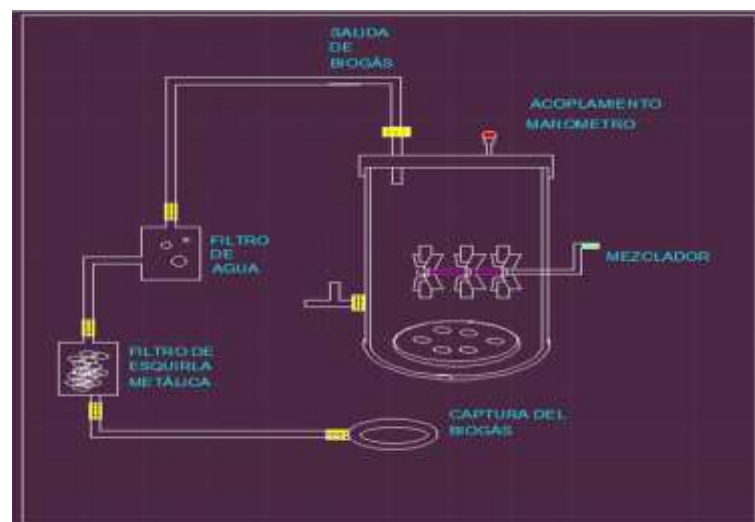


Figura 3-1. Mecanismos de producción de Biogás.

Fuente: Harris, (2014)

Los biodigestores poseen un agitador que tiene la función de impedir que en la superficie del sustrato se forme una capa (nata), que puede generar problemas durante la fermentación, debido que impide la salida de gases y anularía el trabajo de las bacterias presentes en el medio, debido que una mayor presencia del gas afectaría con su normal desarrollo. Además del agitador, en la parte superior se coloca una válvula de salida para el gas metano, el mismo que se aprovechará para la producción de energía eléctrica con la ayuda de un generador. La salida del biodigestor sirve para descargar constantemente los lodos que se generan durante la fermentación, el mismo que podría utilizarse como abono en el suelo, puesto que es rico en nutrientes (García, 2001).

1.2.5. Palma

La palma africana es una planta que pertenece a la familia Arecaceae, que es originaria del Golfo de Guinea, y que se cultiva a nivel mundial en zonas tropicales de América, Asia y África. En la actualidad, esta planta es utilizada para la obtención de biocombustible, siendo considerado como el aceite más consumido en el mundo entero (Magap, 2013).

A nivel industrial, la Palma africana se utiliza para la obtención de dos importantes aceites que son:

- Aceite de palma
- Aceite de palmiste (almendra de palma)

1.2.5.1. Taxonomía y morfología de la palma

La palma pertenece a la familia de las Arecaceae. Es una especie perteneciente a las *Elaeis Guineensis*, normalmente alcanza una altura de 40 metros de altitud, con un diámetro entre los 30 y 60 centímetros, cubierta con cicatrices de hojas viejas que van cayendo con el transcurso del tiempo. El tiempo de desarrollo del tallo varía entre los 3 y 4 años, en el que la planta alcanza su mayor grado de crecimiento horizontal. El tallo se caracteriza por la inserción de peciolos que permanecen vivos durante un largo periodo de tiempo, formando gruesas escamas. Las hojas de esta planta son verdes pinnadas de 5 a 8 m de longitud que constan de dos partes el raquis y el pecíolo. La palma comienza a generar frutos a partir del tercer año, el mismo que tiene una forma ovoide de color rojizo que alcanzan hasta los 4 cm de diámetro, “presentan una piel (exocarpio) lisa y brillante, una pulpa o tejido fibroso denominado mesocarpio que contiene

células adiposas y una nuez o semilla denominada endocarpio; compuesta por un cuesco lignificado y una almendra aceitosa o palmiste (endospermo)” (Productos agri-nova science, 2013).

1.2.5.2. Proceso de extracción del aceite de palma

El aceite de palma es un producto que proviene de la palma africana, el mismo que contiene una parte líquida que es la oleína y una sólida que es la estearina. La fracción sólida sirve básicamente para la producción de margarinas y jabones, mientras que la parte líquida es utilizada para la producción de aceite vegetal. El aceite de palma es rico en vitamina E y Betacarotenos, componentes que permiten la prevención del envejecimiento celular, pérdida de grasa y combate enfermedades de cardiopatía. El Ecuador es considerado como el segundo productor de aceite de palma a nivel regional, por lo que la actividad palmicultora es de gran importancia para la economía del país (PRO ECUADOR, 2014).

Para la extracción del aceite de palma, se realizan los siguientes procesos:

- Primero se procede con la recolección del fruto, del que se extrae la nuez y la pulpa de la palma. Posteriormente se procede a un proceso de esterilización el cual consiste en el cocinado del fruto. Finalmente se realiza el desfrutamiento en el que los frutos se desprendan del raquis.
- El siguiente proceso es la digestión, en la que se macera el fruto agitándose continuamente, lo que facilita el prensado.
- El prensado es el proceso clave en la obtención del aceite, donde el licor de la fruta prensada ingresa a tanques clarificadores, en el que se produce la separación de la fase líquida y la fase oleosa, recuperándose aproximadamente el 80% del aceite, eliminándose además impurezas presentes en el medio.
- Posteriormente el aceite decantado es colocado en una unidad de vacío que permita la eliminación de la humedad, mientras que los lodos provenientes del proceso de clarificación son centrifugados, de manera que se recupera el aceite residual.
- Finalmente llega el proceso de desfibrado y palmistería, en el que la nuez residual se obtiene por medio de sistemas neumáticos que la separan de la fibra, transportan tanto a fibra como a los residuos de las nueces hacia los hornos de las calderas, sirviendo como combustible para la generación de vapor. Véase figura 4-1 (PRO ECUADOR, 2014).

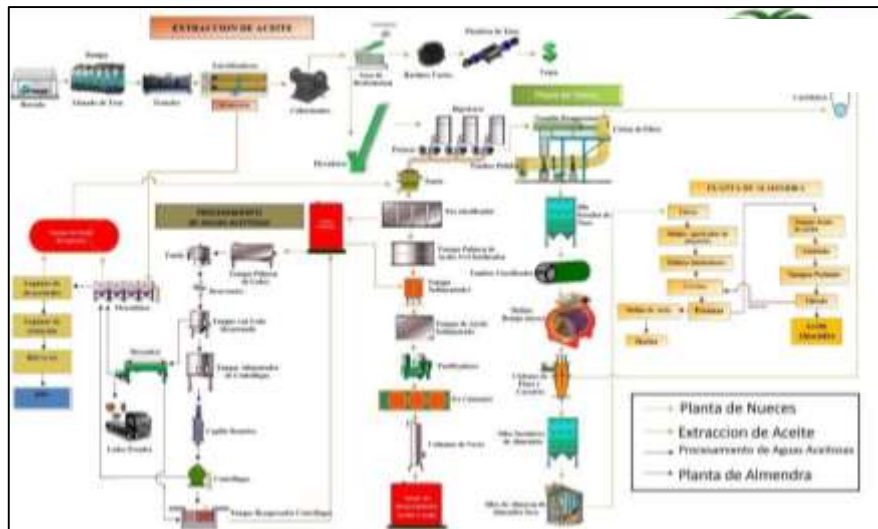


Figura 4-1. Mecanismos de producción de Biogás.

Fuente: PRO ECUADOR, (2014)

La extracción de aceite crudo de palma es uno de los pocos procesos que son autosuficientes, debido que, en el proceso de recuperación de la almendra, del cual se obtendrá el aceite y la torta de palmiste, se genera el residuo denominado nuez de la palma; dicho producto es utilizado como combustible alternativo en el proceso de combustión y generación de energía térmica dentro de los calderos (PRO ECUADOR, 2014).

Para la industrialización de los productos que se derivan del aceite de palma y palmiste crudo, es necesario realizar el proceso de Refinado, Blanqueado y Desodorizado, respectivamente.

El proceso de extracción de aceite de palma genera grandes cantidades de desperdicios sólidos desde el momento de la cosecha de la materia prima hasta el proceso de producción; entre los que se destacan las hojas, racimos vacíos, fibras, raquis, cáscaras de la nuez de palma, mismos que son quemados para la obtención de vapor (Fedepalma, et al., 2010).

1.2.6. Efluentes de la industria palmicultora

Los efluentes que resultan del proceso de producción del aceite de palma, se caracterizan principalmente por el alto contenido de DBO y DQO, grasas, aceites, altas temperaturas y bajo nivel de pH. Uno de los principales problemas es la presencia de aceites, lo que genera

alteración en los procesos de oxigenación de los cuerpos hídricos receptores, lo que genera un impacto significativo sobre los sistemas (Garnica, 1997).

Si los residuos generados por las actividades industriales no son tratados de manera efectiva, se originarán serios problemas ambientales; un ejemplo de esto sucedió en el año de 1992 en Malasia cuando las plantas extractoras de aceite de palma generaron alrededor de 15,9 millones de metros cúbicos de efluentes con grandes niveles de contaminación, lo cual perjudicó a cerca de 25 millones de personas (Azniidris, 1995). Es importante señalar que las plantas extractoras de aceite de palma se localizan cerca de los ríos, debido que requieren grandes volúmenes de agua para los procesos de producción, por lo que la generación de efluentes también será representativa.

Malasia es el principal país exportador y productor de aceite de palma y que en la actualidad se enfrenta a un panorama en el que el establecimiento de estrategias para reducir el impacto ambiental se ha vuelto primordial en las industrias de este país. La digestión anaeróbica es considerada como un método efectivo para el tratamiento de dichos residuos puesto que los métodos convencionales no son lo suficientemente efectivos para contrarrestar dichos niveles de carga contaminante (Azniidris, 1995).

1.2.6.1. Características de los efluentes de la industria palmicultora

Los efluentes de la industria palmicultora presentan elevados niveles de contaminación, observándose que parámetros como la DBO, DQO, Nitrógeno Total, pH y aceites son los principales contaminantes de dichas descargas, tal como se menciona en la siguiente tabla:

Tabla 5-1. Características del efluente procedente de la industria palmicultora.

PARÁMETROS	PROMEDIO	RANGOS
pH	3,7	3,5-4,5
DBO5 (mg/litro)	25000	20000-30000
DQO (mg/litro)	45000	30000-60000
N-NH ₄ (mg/litro)	30	20 - 60
N-orgánico (mg/litro)	600	500-800
N-nitrato (mg/litro)	30	20-60
Sólidos totales (%)	3,5	3 - 5
Sólidos volátiles (%)	2,5	2 - 3

Cenizas (mg/litro)	4500	4000 - 5000
Aceites (mg/litro)	7000	5000-10000
Fécula (mg/litro)	2000	-----
Proteínas(mg/litro)	3000	-----
Azúcar total (mg/total)	1000	-----

Fuente: Garnica, (1997).

Las extractoras de aceite de palma africana son generadoras de efluentes con una alta carga orgánica contaminante, donde por cada tonelada de fruto procesado, se generan entre 0,8 a 1 m³ de efluentes, los que presentan valores de DQO y DBO comprendidos entre 30000 y 60000 mg/l y 20000 y 30000 mg/l respectivamente. Otro de los parámetros considerados es la concentración de Sólidos Suspendedos que se encuentran en el rango de los 20000 a 30000 mg/l, además de las Grasas y Aceites que presentan valores entorno a los 5000-10000 ppm y pH por debajo de 5 (Garnica, 1997).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO EXPERIMENTAL.

2.1 Localización y características de la extractora

2.1.1. Localización del proyecto

La extractora de aceite de palma “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, se encuentra ubicada en la parroquia Nuevo Paraíso, junto al margen derecho del Río Coca, en el kilómetro 8 1/2 de la vía Puerto Francisco de Orellana - Lago Agrio, a 277877.00 m E y 9957732.00 m S, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1-2. Localización geográfica del cantón Francisco de Orellana.

Ubicación:	El cantón Francisco de Orellana está situado al nororiente del país, en la zona geográfica conocida como región amazónica, dentro de las coordenadas: 0°56'00" Latitud Sur, y 75°40'00" Latitud Oeste.
Límites:	Al Norte la provincia de Sucumbíos; al Sur la provincia de Pastaza; al Este el Límite Internacional con el Perú; y al Oeste con la Provincia de Napo.
Altitud:	232 m.s.n.m
Temperatura:	La temperatura ambiente en el cantón Francisco de Orellana es de 25° en promedio. Predomina el tropical húmedo, con precipitaciones persistentes que dan lugar a una consecuente evaporación y altas temperaturas.
Orografía:	La provincia de Orellana y en si el cantón Francisco de Orellana posee una configuración geográfica especial, cuenta con la presencia de altos relieves como el Cerro Negro y el volcán Sumaco, estos se encuentran en la parte oriental de la cordillera de los Andes; los ríos Coca y Napo forman una extensa llanura amazónica que lo rodean.

Hidrografía:	Entre los principales ríos que rodean al cantón Orellana son los ríos: Payamino, Napo, Tiputini, Yasuní, Coca, Nashiño, Rumiyaçu, Pinoloyacu; además de lagunas como las de Añangucocha, Zancudococha, Jatuncocha, etcétera.
Clima:	El clima es cálido húmedo, la temperatura varía entre los 20° y 40° C.

Fuente: Ecured, (2018)

Realizado por: Tigse, J (2017)



Gráfico 1-2. Ubicación geográfica de la extractora de aceite de palma “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”

Fuente: Google Maps.

2.1.2. Características de la extractora

La extractora de aceite de palma “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.” posee una capacidad de procesamiento de fruta equivalente a 25 toneladas por hora, con un porcentaje de extracción promedio de aceite del 21 %. El proceso completo genera un caudal de 10 m³/h de agua residual, las mismas que son enviadas hacia un sistema de tratamiento de aguas residuales, conformada por 6 piscinas, las cuales cumplen con los procesos de captación de aceite residual, hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

Se realizó diversos recorridos por la empresa donde se pudo constatar los diferentes procesos aplicados para la extracción de aceite rojo de palma, partiendo desde la recolección del fruto, la esterilización, el desfrutamiento, la digestión del mosto, la decantación, clarificación y palmistería, tal como se observa en la figura 1-2

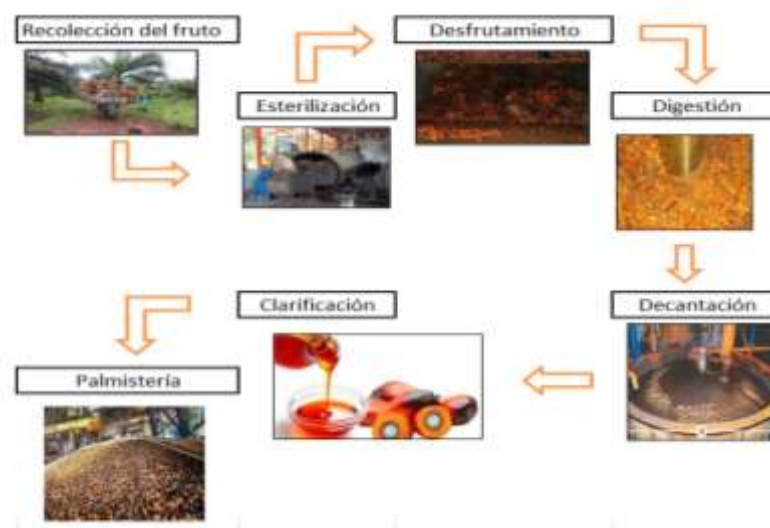


Figura 1-2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2. Metodología

2.2.1. Determinación de Caudales de aforo

Una de los principales parámetros a considerar para la generación de Biogás en EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A fue la determinación de los caudales y la toma de muestras, previo al proceso de caracterización de los efluentes. La determinación del caudal se lo efectuó al ingreso del sistema de tratamiento de efluentes de la empresa, utilizándose para ello el método de aforo volumétrico que consiste en el llenado de un recipiente de volumen conocido en un tiempo determinado. De acuerdo con datos proporcionados por la empresa, se genera un total de 10 m³/h aproximadamente, pudiéndose corroborar dicho valor con el aforo realizado durante el monitoreo (BVSDE, 2012).



Fotografía 1-2. Medición del caudal de ingreso al sistema de biorremediación.

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2.2. Muestreo y caracterización del efluente.

La toma de muestras se la realizó conforme a los lineamientos establecidos en la NORMA INEN 2169-2013, donde se tomaron 6 muestras al azar en la piscina facultativa (3B) ubicada luego de las piscinas acidogénicas, para posteriormente homogenizarlas y obtener una muestra compuesta, la misma que fue trasladada hacia el Laboratorio LABSU, ubicado en la ciudad de Francisco de Orellana, para sus respectivos análisis físicos-químicos (ver anexo A).



Fotografía 2-2. Muestreo del efluente.

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2.3. Determinación de parámetros in-situ

Entre los parámetros que se consideran para la determinación de la calidad del efluente tenemos la temperatura y el pH del efluente, debido que pueden sufrir ciertas variaciones durante el proceso de traslado de la muestra hacia el laboratorio indicado anteriormente. La temperatura fue determinada mediante la utilización de un termómetro de mercurio, el mismo que fue agitado hasta obtener una lectura estable de la muestra compuesta; mientras que la medición del pH se lo realizó utilizando un pH-metro Marca PCE-PHD1, el cual se introduce por aproximadamente 40 segundos o hasta que la lectura tienda a estabilizarse. Finalmente los resultados son reportados posteriormente.



Fotografía 3-2. Medición de parámetros in-situ del efluente.

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2.4. Determinación de parámetros ex-situ

Para la caracterización de las aguas provenientes de la empresa, la muestra fue trasladada hacia el laboratorio de suelos, aguas y plantas LABSU en la ciudad del Coca, donde se analizaron diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos del efluente, de acuerdo a las siguientes metodologías:

Tabla 2-2. Parámetros pre-tratamiento.

Parámetros	Unidad	PEE-LABSU	Método/ Norma/ Referencia	Incertidumbre (K = 2)
Potencial Hidrogeno	-	PEE-LABSU-12	SM 4500-H+B	± 0.05
*Sólidos totales	%	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10 %
*Sólidos totales volátiles	%	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
*Sólidos suspendidos	%	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	-
*Sólidos suspendidos volátiles		PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
Nitrógeno total	%	PEE-LABSU-71	HACH 10071	-
*DQO	g/ L	PEE-LABSU-89	HACH 8000	-
*DBO	g/ L	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	-

Fuente: LABSU, (2017)

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2.5. Índice de Biodegradabilidad.

Uno de los principales parámetros requeridos para la determinación de la tratabilidad de un efluente es el índice de biodegradabilidad, el mismo que consiste en establecer la relación entre la DBO y la DQO del licuame a tratar, donde en relación al valor alcanzado se puede optar sea por un tratamiento de tipo físico-químico, como por un tratamiento de tipo biológico, de acuerdo a la tabla 3-2 (Hernandez, 1992).

Tabla 3-2. Relación entre parámetros DBO5 y DQO

	POCO BIODEGRADABLE	MEDIANAMENTE BIODEGRADABLE	MUY BIODEGRADABLE
$\frac{DBO_5}{DQO}$	<0,2	0,2 - 0,6	>0,6
Tipo de tratamiento recomendado	Físico-químico	Físico-químico – Biológico	Biológico

Fuente: Hernandez, (1992)

Realizado por: Tigse, J (2017)

2.2.6. Diseño y construcción de un biorreactor a escala piloto

Para el diseño, construcción del biodigestor y producción de biogás se ejecutaron los siguientes procesos:

- Selección del modelo del biorreactor
- Dimensionamiento del biorreactor a escala piloto
- Construcción e instalación del biorreactor a escala piloto
- Funcionamiento del biodigestor.

2.2.6.1. Selección del modelo del biodigestor.

Como lo indica por Macías, (2014) en base a criterios establecidos de experiencias anteriores sobre el manejo de efluentes en la provincia de Esmeraldas, se estableció que para la producción de biogás a partir de efluentes residuales industriales, una alternativa viable económicamente es la utilización de un biorreactor tipo Batch a escala piloto, debido a la versatilidad de su diseño y a que el balance de masa en estos biodigestores es directamente proporcional en lo que se refiere al balance de entrada y salida de biomasa (James R. Mihelcic, 2012); además de no requerir atención continua y presentar una producción entre 0.5–1m³ de biogás /m³ de volumen del digestor, lo que provee un enfoque de soberanía energética y facilita el análisis de procesos metanogénicos a nivel de laboratorio (Solari, 2014).

Un sistema básico de digestión tipo Batch fue planteado por Ismail y Adewole (2014), el mismo que se utilizó para la evaluación de producción de biogás mediante el uso de heces humanas, tal como se indica en la figura 2.2.

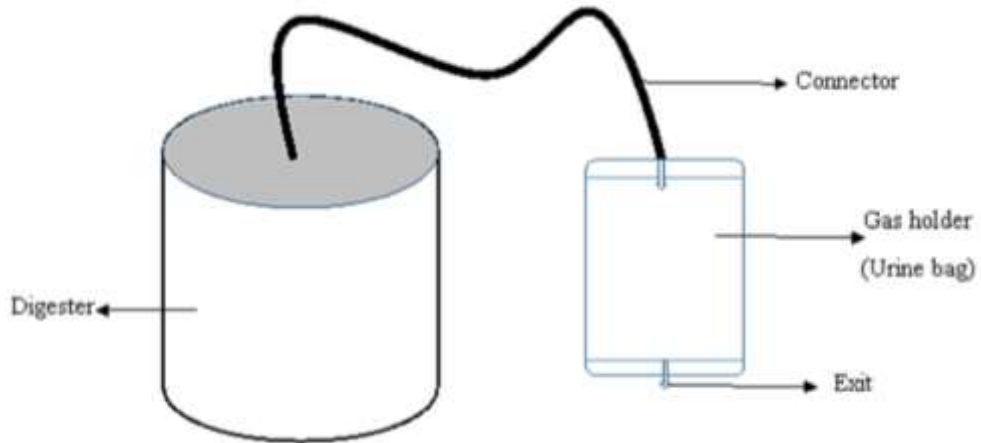


Figura 2-2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma

Fuente: Ismail, (2014)

2.2.6.2. Dimensionamiento del biodigestor a escala piloto

Para la construcción del biorreactor se utilizó un tanque de polietileno de 20 L que permitió llevar a cabo la digestión anaerobia del sustrato, lo que recayó en la producción de biogás, donde se consideró algunos criterios tales como la disponibilidad del efluente, el volumen de biogás a obtener, la materia prima disponible y la carga al biodigestor.

a) Volumen del biorreactor

La capacidad total del tanque del biorreactor será de 20 L (CTB), esta se determinó por criterio personal, todo esto en relación con la naturaleza del presente proyecto.

b) Volumen Total de efluente

Se dejará un espacio vacío en el biorreactor de aproximadamente un 25% (1/4) en tanque-biorreactor, por lo que solo se utilizará el 75% de la capacidad de este, el cual lo denominaremos como volumen de trabajo (VT).

$$VT = CTB * 0.75$$

(1)

Dónde:

VT: volumen de trabajo en Litros.

CTB: capacidad total del biorreactor en Litros.

$$VT = 20 L * 0.75$$

$$VT = 15 L$$

Por tanto, la cantidad de efluente a utilizar estaría en torno a los 15 Litros, lo cual se utilizaría para la producción del biogás.

c) Cálculo de la cámara de recolección de biogás.

Para calcular la capacidad de la cámara de almacenamiento de Biogás, se tomó como referencia los criterios establecidos por Macías, (2014), donde la relación de producción (RP) es de 2.897 cm³ biogás por cada cm³ de agua residual tratada, misma que refleja la efectividad de la generación de biogás de este tipo de efluentes. Por tanto, la cantidad de biogás teórico a esperar se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$VB = (VT * RP)/1000 \quad (2)$$

Donde:

VB: volumen de Biogás en Litros.

VT: volumen de trabajo en cm³.

RP: relación de producción de biogás en cm³.

$$VB = (15000 \text{ cm}^3 \text{ agua residual} * 2.897 \frac{\text{cm}^3 \text{ biogás}}{\text{cm}^3 \text{ agua residual}})/1000$$

$$CRB = 43.445 L$$

Por tanto, en relación con este criterio, la capacidad que deberá tener la cámara de recolección de Biogás deberá tener una capacidad mínima de 50 L.

2.2.6.3. Construcción del biorreactor a escala piloto

La construcción del biorreactor a escala piloto se la realizó en tres etapas:

a) Limpieza y preparación del área para la construcción del biodigestor a escala piloto.

Para la preparación de la zona de construcción del biorreactor, se realizaron las siguientes actividades:

- El suelo deberá estar compactado, debido que un área firme evitará posibles problemas a corto y mediano plazo sobre la estabilidad de la zona donde funcionará el digestor.
- El sitio seleccionado deberá estar despejado a nivel del suelo y tener una cubierta para evitar variaciones de temperaturas extremas, lo cual dificultaría el desarrollo microbiano al interior del reactor (Macías, 2014).

Se realizó una limpieza del terreno previo a la construcción del biorreactor. El sitio se encontrará bajo una cubierta que impida la exposición directa de la radiación solar al biodigestor, lo que ayuda a controlar una temperatura constante, lo que favorecerá el incremento de carga microbiana y por ende la formación del biogás.



Fotografía 4-2. Limpieza y preparación del área seleccionada para la construcción.

Elaborado por: Tigse, J (2017)



Fotografía 5-2. Construcción de la caseta para la producción de biogás.

Elaborado por: Tigse, J (2017)

b) Construcción del biorreactor a escala piloto.

El biorreactor tipo Batch a escala piloto usado en presente proyecto fue construido en poliéster reforzado, con un volumen de 20 L (altura de líquido: 0.30 m, diámetro: 0.15m). Para la construcción del biorreactor fue necesaria la adquisición de diferentes materiales que vienen detallados a continuación. Véase tabla 4-2

Tabla 4-2. Materiales utilizados

CANT.	DETALLE	UNIDAD
5	Plástico negro	M
4	Bases metálicas	Unidad
1	Recipiente de polietileno de 20 L	Unidad
12	Vigas de madera (3x3)	M
1	Recipiente de polietileno de 4 L	Unidad
2.5	Material pétreo (lastre)	m ³
3	Triplex de 5 mm (1.5x2)	Unidades
1	Alambre blanco de amarre	Libra
1	Clavos de 2 pulg.	Libra
4	Llaves de paso ½ pulg.	Unidad
1	Te de ½ pul.	Unidad
4	Codos de ½ pulg.	Unidad
10	Neplo	Unidad

3	Mangera de gas	M
2	Fundas de polietileno transparentes	Unidad
1	Medidor de agua	Unidad
12	Tubo de polietileno de agua	M
1	Sellante de superficies (gasket sealeant)	Unidad
3	Autofundente (self bonding electrical tape)	Unidad

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Una vez adquiridos los materiales se procedió a la construcción del reactor, el mismo que estará compuesto por un el tanque de retención, filtro purificador, medidor del gas generado y el sistema de almacenamiento de gas producido. A continuación en la fotografía 6-2 se observa el acondicionamiento de los siguientes dispositivos: filtro de la purificación del biogás producido, medidor de flujo y el recipiente de almacenamiento del biogás.



Fotografía 6-2. Construcción del biorreactor

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Una vez que construido el sistema, se procedió a colocar 15 L del efluente proveniente de la piscina facultativa 3B y 0.5 L de Melaza que actúa como estimulante para el incremento de la población microbiana. Una vez cerrado herméticamente la cámara de digestión, se pone en marcha el funcionamiento del sistema, dando lugar al proceso de digestión anaerobia que convertiría el efluente en biogás. Como se observa en la Fotografía 7-2, la producción del biogás generaría el incremento de la cámara de acopio del biogás, hasta alcanzar los niveles máximos tal como se observa en la Fotografía 8-2.



Fotografía 7-2. Construcción de la caseta para la producción de biogás.

Elaborado por: Tigse, J (2017)



Fotografía 8-2. Obtención del biogás a escala piloto

Elaborado por: Tigse, (2017)

c) **Funcionamiento del biodigestor.**

Realizadas las pruebas de hermeticidad, en condiciones normales o con efluente, se consideró que el biorreactor a escala piloto está listo para su funcionamiento (ambiente anaerobio). La puesta en marcha duró aproximadamente dos meses, el biorreactor fue inoculado con 15 L de agua residual procedente de la extractora “EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”, considerando los siguientes parámetros: Véase tabla 5-2

Tabla 5-2. Parámetros operacionales del biodigestor tipo Batch.

PARÁMETRO	DATOS
Proceso	Anaerobio
Régimen	Discontinuo
Tiempo de retención	20 días
Temperatura	30 °C

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Fuente: Perez, (2010)

Una vez puesto en marcha el sistema, se procedió con la medición de la cantidad de biogás por día, el mismo que fue registrada en la siguiente tabla: Véase tabla 6-2

Tabla 6-2. Matriz para el registro de la producción de biogás por día.

# DIA	PRODUCCIÓN DE BIOGAS (L/día)	# DIA	PRODUCCIÓN DE BIOGAS (L/día)
1		22	
2		23	
3		24	
4		25	
5		26	
6		27	
7		28	
8		29	
9		30	
10		31	
11		32	
12		33	
13		34	
14		35	
15		36	
16		37	
17		38	
18		39	
19		40	
20		41	
21		42	
		TOTAL	

Elaborado por: Tigse, J (2017)

2.2.7. Caracterización biogás obtenido

La caracterización del biogás obtenido durante el proceso de digestión anaerobia, se lo traslada hacia el laboratorio de suelos, aguas y plantas LABSU en la ciudad del Coca para la cuantificación porcentual de los diferentes componentes del biogás obtenido, el mismo que se lo realizó de acuerdo a la siguiente metodología: Véase tabla 7-2

Tabla 7-2. Parámetros para caracterización de biogás.

Ítem	Parámetros	Técnica	Método / Norma / Referencia
1	Metano	PEE-LABSU-12	Conductividad térmica
2	Anhídrido Carbónico	PEE-LABSU-49	Conductividad térmica
3	Ácido sulfhídrico	PEE-LABSU-38	Colorimetría
4	Oxígeno	PEE-LABSU-17	Conductividad térmica
5	Hidrógeno	PEE-LABSU-14	Conductividad térmica

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Fuente: LABSU, (2017)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación de caudales generados en la extractora “EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”, fue realizada por un método volumétrico, todo esto a que es una manera sencilla de calcular caudales de manera directa en relación con el tiempo (C.E, 1959). Durante la fase de muestreo se realizó la medición de los caudales a la salida de la planta, misma que se ubica al ingreso al sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuenta la empresa, obteniéndose los siguientes resultados: Véase Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Determinación de caudales

# Muestra	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)
1	5	13.9	2.78
2	10	27.8	2.78
3	5	13.8	2.76
4	10	27.9	2.79
5	5	13.7	2.74
6	10	28	2.80
Promedio			2.79

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Como se puede observar, el volumen de aguas que salen de los diferentes procesos de extracción de aceite de palma es representativo, por lo que la implementación en un futuro de un sistema de tratamiento deberá considerar un caudal de 2.8 l/s.

3.1. Análisis del efluente

Una vez realizado el muestreo de los efluentes provenientes de la piscina 3B de la Empresa “EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”, se realizó la caracterización del mismo, obteniéndose los siguientes resultados: Tabla 2-3

Tabla 2-3. Caracterización inicial del efluente.

Parámetros	Unidad	Valor	Límite Máximo	Método/ Norma / Referencia
pH (ex situ)	-	6.70	5-9	SM 4500 H+B
*pH (in-situ)	-	6.69	5-9	pH-metro PCE-PHD1
Sólidos totales	mg L ⁻¹	26000	1600	SM 2540 B
Sólidos totales volátiles	mg L ⁻¹	19300		Gravimetría
Sólidos suspendidos	mg L ⁻¹	19400	220	SM 2540 D
Sólidos suspendidos volátiles	mg L ⁻¹	16200		Gravimetría
Nitrógeno total	mg L ⁻¹	414.8	40	HACH 10071

DQO	mg L ⁻¹	35900	500	HACH 8000
DBO	mg L ⁻¹	10660	250	SM 5210 B
*Temperatura	°C	30		

***Parámetros medidos in-situ.**

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Fuente: LABSU, (2017)

Como se puede observar todos los parámetros a excepción del pH se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, lo cual convierte a estos efluentes en altamente contaminantes debido principalmente al contenido de Materia Orgánica (DQO, DBO), Nitrógeno Total y sólidos totales que son elevados, por lo que la depuración de los mismos es importante previo a la descarga de los mismos hacia un cuerpo de agua superficial.

El índice de biodegradabilidad es una relación cuantitativa entre los niveles de DBO y DQO, e indica la capacidad que de un efluente en ser tratado sea por procesos biológicos o por procesos físico-químicos (Hernandez, 1992). En relación a los valores obtenidos de la caracterización de los efluentes de la empresa “EXTRATOCOCA EXTRACTORA RIO COCA S.A.”, se calculó el índice de Biodegradabilidad que presenta el agua proveniente de los procesos de producción de la empresa, obteniéndose el siguiente resultado:

$$\frac{DBO}{DQO} = \frac{\text{Concentración } DBO_5}{\text{Concentración } DQO}$$

$$\frac{DBO}{DQO} = \frac{10660 \text{ mg/l}}{35900 \text{ mg/l}} = 0.30$$

De acuerdo con Hernandez, (1992), un efluente con un índice de biodegradabilidad entre 0.3 y 0.5 indicaría que el proceso de depuración recomendado sería físico-químico o biológico; sin embargo, al tratarse de un efluente con elevada carga de materia orgánica, puede ser esta aprovechada para la producción de biogás.

3.2. Dimensionamiento del biorreactor a escala piloto.

Una vez realizado el análisis de los efluentes y en base a la revisión bibliográfica efectuada, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-3. Dimensiones reactor tipo Batch escala piloto.

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Capacidad total del biorreactor.	CTB	20	L
Volumen de trabajo	VT	15	L
Volumen teórica de Biogás	VB	43.445	L
Cámara de recolección de biogás	CRG	50	L

Fuente: Señer, (2005)

Elaborado por: Tigse, J (2017)

En relación a los resultados obtenidos de la caracterización y considerando un volumen total de 20 L, la cantidad de biogás esperado sería igual a 44 l aproximadamente, por lo que la cámara de recolección del gas tendría una capacidad igual a 50 litros.

3.3. Producción de biogás

Una vez puesto en marcha el biorreactor, se procedió con la medición de los volúmenes de biogás generados durante 42 días, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4-3. Producción de biogás en litros por día.

# DÍA	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (L/día)	# DIA	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (L/día)
1	0.1	22	1.2
2	0.2	23	1.2
3	0.3	24	1.3
4	0.4	25	1.2
5	0.6	26	1.1
6	0.7	27	1.3

7	0.7	28	1.2
8	0.7	29	1.2
9	0.7	30	1.3
10	0.8	31	1.3
11	0.8	32	1.3
12	0.9	33	1.3
13	0.6	34	1.3
14	0.9	35	1.3
15	1	36	1.3
16	1.1	37	1.4
17	1.1	38	1.1
18	1.1	39	1.1
19	1	40	1.1
20	1.1	41	1.1
21	1.3	42	1.1
TOTAL			41.8

Elaborado por: Tigse, J (2017)

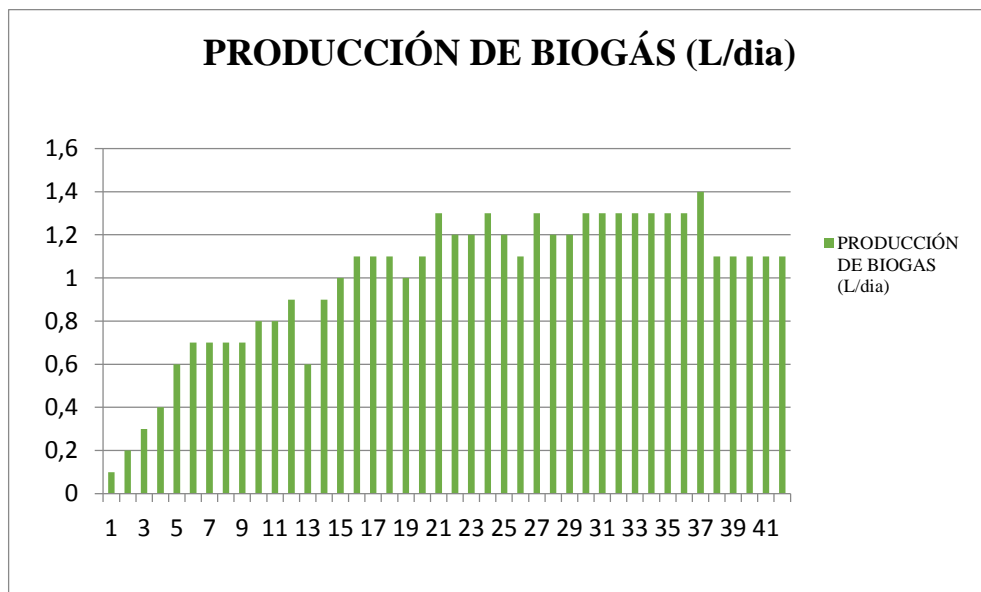


Gráfico 1-3. Producción de biogás en litros por día.

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Como se puede observar en la gráfica 1-3, la generación de biogás empieza a partir del día 1, siendo estos valores bajos en relación con los obtenidos luego del día 21. La cantidad de biogás generado durante los primeros días de la experimentación corresponderían a los obtenidos durante la fase de adaptación de los microorganismos, mostrando un incremento sustancial a partir del día 5; sin embargo, partir del día 21 la cantidad de gas producido tiende a estabilizarse, obteniéndose en promedio 1.3 l/día. Finalmente, a partir del día 38, empieza una fase de decrecimiento que, de acuerdo con la FAO, (2011) estaría relacionado con la

disminución de sustrato y por ende con un decremento de la carga microbiana al interior del reactor, por lo que la alimentación de agua debería ser continua para garantizar una producción contante de biogás (Lozano, et al., 2009).

3.4. Análisis final del efluente tratado.

Una vez transcurridos los 60 días de la experimentación, se procedió a caracterizar el efluente digestado, obteniéndose los siguientes resultados: véase Tabla 5-3

Tabla 5-3. Análisis final del efluente.

Parámetros	Unidad	Valor	Límite Máximo	Método / Norma / Referencia
Potencial Hidrógeno	-	7.40	5-9	SM 4500-H+B
*Sólidos totales	g L ⁻¹	4100	1600	SM 2540 B
*Sólidos totales volátiles	g L ⁻¹	3500		Gravimetría
*Sólidos suspendidos	g L ⁻¹	3000	220	SM 2540 D
*Sólidos suspendidos volátiles	g L ⁻¹	1100		Gravimetría
Nitrógeno total	g L ⁻¹	215.5	40	HACH 10071
*DQO	g L ⁻¹	4100	500	HACH 8000
*DBO	g L ⁻¹	1210	250	SM 5210 B

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Fuente: LABSU, (2017)

Como se puede observar en la tabla 3.5, los resultados obtenidos de la caracterización del efluente digerido muestran una reducción importante de los niveles de materia orgánica (DQO, DBO), además de los sólidos totales y suspendidos, donde la reducción es significativa; sin embargo, debido a la elevada carga contaminante con la que ingresa el efluente al reactor tipo BATCH, el licuame que sale del reactor aún presenta valores elevados en todos los parámetros, por lo que deberá ser sometido a un nuevo proceso de tratamiento previo a la descarga hacia el río Coca.

3.5. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma.

Una vez realizada la caracterización antes y posterior al proceso de digestión anaerobia del efluente, se determinaron los porcentajes de remoción de los diferentes parámetros analizados durante la digestión, obteniéndose los siguientes valores: véase tabla 6-3

Tabla 6-3. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma.

Parámetro	Símbolo	Valor Ingreso	Valor Salida	% Remoción
Potencial de Hidrógeno	pH	6.7	7.4	
Sólidos totales	ST	26100	3225	87.64
Sólidos totales volátiles	STV	19300	2900	84.97
Sólidos suspendidos	SS	19400	2400	87.63
Sólidos suspendidos volátiles	SSV	16200	1100	93.21
Nitrógeno total	NT	414.8	175.5	57.69
DQO	DQO	35900	3100	91.36
DBO	DBO	10660	1650	84.52

Elaborado por: Tigse, J (2017)

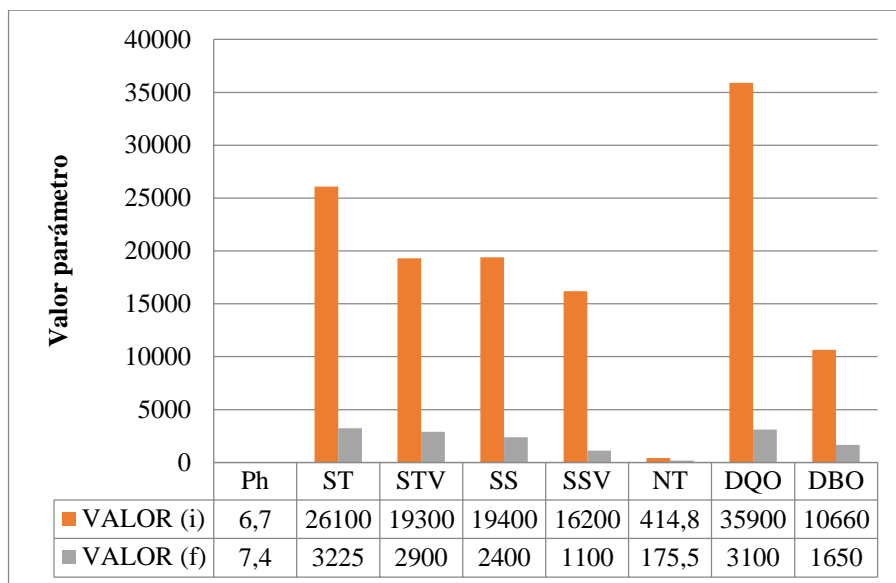


Gráfico 2-3. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la norma

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Como se muestra en la tabla 3.6, durante la caracterización inicial de la muestra tomada en la planta de tratamiento de agua residual de la extractora, el pH del agua que ingresa a la laguna facultativa 3B es neutro-ácido, alcanzando un valor de 6.70, el cual no presenta ningún inconveniente durante el proceso anaerobio, debido que el proceso de digestión anaerobia puede ser llevada a cabo a partir de un pH de 5 (Chan, et al., 2010).

Con respecto al contenido de materia orgánica, el contenido tanto de la DBO como de la DQO en la piscina 3B es muy elevada en relación con valores obtenidos en aguas residuales domésticas (35900 y 10660 mg L⁻¹), la cual se debe a la presencia de grasas y aceites, además de residuos orgánicos provenientes de los diferentes procesos de extracción del aceite de palma, siendo mayor cuando el volumen de producción se incrementa (Najafpour, et al., 2005).

Una vez realizado el proceso de digestión al interior del digestor anaerobio se obtuvo una reducción tanto de la DQO como de la DBO en valores cercanos al 91 y al 84% respectivamente, el cual se asemeja a los porcentajes de reducción obtenidos por Abdurahman, N.; Rosli Y.; Azhari N. (2013), que se encuentran en torno al 90%. Es importante considerar que para llegar a estos niveles de reducción se debe realizar un adecuado monitoreo y control de los diferentes parámetros de funcionamiento (pH, Temperatura y tiempo de retención), los mismos que se atribuyen a la reducción de la materia orgánica y de elementos tales como sulfatos y nitratos (Najafpour, et al., 2005).

En relación a la cantidad de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos suspendidos (SS) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV), las concentraciones finales posterior al proceso de digestión se encuentran en torno a 3225, 2900, 2400, 1100 g/L respectivamente, tal como se muestra en la tabla 3.6, lo que representa una remoción del 87, 84, 87, 93 % de cada uno de los parámetros antes citados. Según, Abdurahman, et al., (2013), los valores iniciales se encuentran en los rangos típicos de efluentes provenientes de procesos de extracción de aceite de palma, no obstante, los porcentajes de remoción aún son insuficientes para cumplir con los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, reformativo del TULSMA, libro VI, anexo I. Dicha reducción se debió al consumo de la materia orgánica durante la fase anaeróbica.

Con respecto al contenido de Nitrógeno total (NT), el efluente inicialmente presentó una concentración de 414.8 mg/L, lo que representa que los niveles se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A. Dicha concentración se atribuye principalmente a la composición de los efluentes de la industria palmicultora, pudiéndose alcanzar valores en los efluentes de 18.3 kg/Ton en peso seco, la cual se reduce en aproximadamente un 58% producto de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Galindo, 2012). Es importante citar que la concentración inicial del Nitrógeno Total en el efluente no interfiere en los procesos de digestión anaerobia de la materia orgánica, y que, de acuerdo con Chan, et al., (2010), los efluentes con una concentración inferior a 600 mgNO₃/L no generan efectos significativos.

3.6. Caracterización del biogás obtenido

En la caracterización del biogás (tabla 3.7) se aprecia que el componente más abundante es el metano (CH₄) con un porcentaje de 57.5 %, lo cual tiene semejanza según lo expresado por Blanco, et al. (2011) en estudios previos, donde se estableció que la concentración de metano en el biogás estaría entre el 40 al 70%, sin embargo, la presencia de CO₂ y de otros gases dificulta alcanzar el máximo poder calorífico, debido a que interfieren durante la combustión del metano (FAO, 2011). Como se observa en la tabla 7-3, existe una concentración representativa de CO₂, el cual podría reducirse siempre que el biogás pase a través de una solución de hidróxido de sodio para garantizar la remoción de dicho componente, lo cual mejoraría la calidad del biogás (Blanco, 2011).

Tabla 7-3. Caracterización del biogás obtenido

Ítem	Parámetros	Unidad	Valor	Técnica	Método / Norma / Referencia
1	Metano	%	57.5	PEE-LABSU-12	Conductividad térmica
2	Anhídrido Carbónico	%	39.9	PEE-LABSU-49	Conductividad térmica
3	Ácido sulfhídrico	%	0.1	PEE-LABSU-38	Colorimetría
4	Oxígeno	%	1.0	PEE-LABSU-17	Conductividad térmica
5	Hidrógeno	%	1.5	PEE-LABSU-14	Conductividad térmica

Elaborado por: Tigse, J (2017)

Fuente: LABSU, (2017)

3.7. Propuesta de diseño

Durante la simulación del proceso a escala piloto, se determinaron las condiciones operativas del biodigestores, en la cual se establecieron rangos óptimos de funcionamiento tanto de la temperatura como del tiempo de retención al que debería someterse el efluente proveniente de la laguna facultativa 3-B para la producción de biogás.

Como se observa en la tabla 5-2, el tiempo de retención y el promedio de temperatura recomendado para un sistema de producción de Biogás descrito por Pérez, (2010), fueron de 20 días y 30 °C respectivamente. A nivel experimental, con los efluentes provenientes de la Extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.” se buscó maximizar eficiencia de la digestión del sustrato y las condiciones operativas de la tecnología aplicada (Yepes, 2013), aplicándose una agitación semicontinua y garantizando que las condiciones de temperatura se mantengan alrededor de lo descrito por la bibliografía.

Otro de los parámetros a controlar durante el proceso de producción del biogás es el pH, el cual se mantuvo al inicio de la digestión en valores entorno a 6.69; sin embargo, al finalizar la misma se obtuvo un ligero incremento a cerca de 7.4. Es importante notar que para la producción de biogás a nivel industrial, los valores de pH sobre 5 garantizarían una óptima digestión del sustrato y por ende maximizarían la producción de biogás y el porcentaje de metano resultante de este (GENERA4, 2015).

Según los resultados obtenidos y por la naturaleza de la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, se propone implementar un sistema de generación de

biogás tipo continuo, donde se garantice una alimentación continua que garantice el balance de masa tanto al ingreso como a la salida del reactor, con una capacidad de degradación cercana a los 2.7 L/s, que correspondería al caudal de salida de la planta de tratamiento, pudiéndose utilizar los efluentes que han sido previamente tratados en la laguna facultativa 3B, la cual aportaría con la microfauna necesaria para que se lleve efecto el proceso de digestión.

Debido que los microorganismos presentes en los efluentes de la laguna facultativa 3B muestran un proceso de adaptación, la producción de biogás se daría a partir del 1er día, lo cual se ve reflejado en los volúmenes obtenidos de la prueba piloto realizada (véase Tabla 6-3), pudiéndose alcanzar los máximos niveles de producción a partir del día 21. A nivel de la temperatura de reacción, es importante resaltar que la empresa al estar ubicada en la ciudad de Francisco de Orellana, presenta condiciones favorables debido que la temperatura media promedio de la zona es de 25°C, que podría incrementarse a cerca de los 40°C, lo cual incidiría favorablemente sobre los volúmenes de producción del biogás.

El sistema de producción de biogás a escala industrial deberá constar con los siguientes dispositivos:

- Estanque de recepción del efluente, que en el caso de la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, sería la laguna facultativa 3-B
- Tanque mezclador, que permitirá la homogenización del efluente a tratar previo al ingreso hacia la cámara de digestión
- Cámara de digestor, que deberá tener un sistema de palas de agitación, válvulas de ingreso tanto del efluente como de nutrientes, además de las válvulas de salida del licuame tratado, del biogás generado y de los lodos producidos.
- Post-fermentador, que servirá para la estabilización de los lodos y para la generación de un biogás residual.
- Depósito de gas, el cual deberá permitir el almacenamiento provisional del gas generado previo al proceso de purificación del mismo.
- Estación de compresión y tratamiento del biogás, el mismo que permitirá la remoción de los gases interferentes mediante dispositivos como filtros de purificación tanto de sulfuro de hidrógeno como del dióxido de carbono generado. Véase gráfica 1-3

Es importante la implementación de los sistemas de agitación continua que garanticen una correcta homogenización del sustrato. Es importante que el sistema presente una válvula de control y muestreo para realizar el monitoreo continuo tanto del pH, de la temperatura, como de otros parámetros de interés. En caso de variaciones bruscas de temperatura, la cámara de

digestión deberá presentar un aislamiento térmico o un sistema de calentamiento o refrigeración, afín de garantizar la temperatura ideal en el sistema.

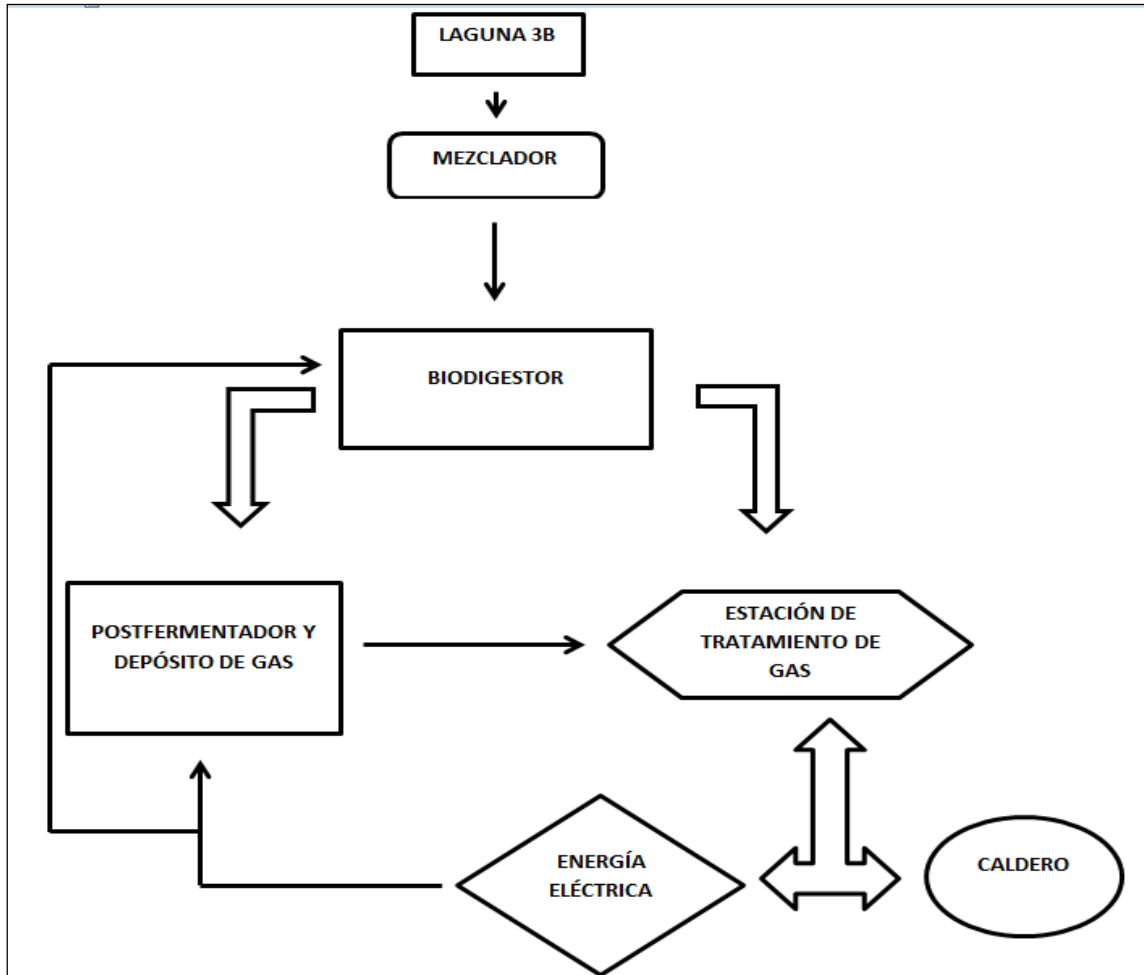


Figura 1-3. Diagrama de flujo una planta de generación de biogás y energía eléctrica.

Elaborado por: Tigse, J (2017)

CONCLUSIONES

- Durante el presente estudio se generó biogás a partir de los efluentes procedentes de la extractora “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, mediante procesos metanogénicos, obteniéndose un volumen de producción de 2.78 cm³ de biogás / cm³ de agua residual; convirtiéndose en una alternativa para la producción de electricidad a nivel de la industria palmicultora.
- De acuerdo a revisión bibliográfica se procedió a construir un reactor de tipo Batch de alimentación discontinua con una capacidad de 20 L, el mismo que consta de un sistema de recolección del gas generado, un sistema de filtrado y deshidratación del gas y un reactor donde se produjo la digestión del efluente proveniente de la extractora.
- Se realizó la caracterización del efluente proveniente de la piscina facultativa 3-B al inicio y al finalizar el proceso de digestión, obteniéndose una remoción tanto de la DBO, DQO, NTK, SST, SSV, ST y STV en el orden del 91, 84.5, 57.6, 87, 93, 87 y 84% respectivamente, lo cual indica un adecuado funcionamiento del biorreactor, que se ve reflejada con la cantidad de biogás generada.
- Se determinaron las condiciones operativas del biorreactor a partir de los resultados obtenidos tanto de la caracterización como de los parámetros de control efectuados al efluente previo al proceso de digestión; los mismos que fueron: Temperatura de 30°C, Tiempo de retención de 42 días, Agitación discontinua, pH al inicio del proceso de 6.7 y un volumen del licuame del 75% de la capacidad del reactor.
- Una vez medidos los caudales de efluente procedente de la extractora la “EXTRACTOCOCA EXTRACTORA RÍO COCA S.A.”, analizado sus características iniciales y finales, determinado las condiciones operativas del biorreactor y la caracterización del biogás obtenido se recomienda la implementación de un biorreactor de tipo continuo que posea un balance de masa con la capacidad de procesar un volumen de 10 m³ / hora de efluente bajo condiciones operativas propias del sistema.

RECOMENDACIONES

- Las empresas que generen efluentes con altas cargas de material orgánico como resultado de los procesos de producción deben considerar como parte de control interno, evaluaciones periódicas de la calidad del agua de los efluentes que son vertidas hacia un cuerpo hídrico, donde el manejo de parámetros biológicos representen una variable técnica y viable para el monitoreo de las fuentes hídricas, significando a su vez el ahorro de tiempo y recursos debido a la naturaleza de su ejecución.
- Socializar con los sectores de interés el desarrollo de indicadores que permitan reconocer la calidad del recurso hídrico al que se exponen, con la finalidad de establecer estrategias que eviten posteriores afecciones a los seres vivos.
- Es importante cuantificar el ahorro de recursos económicos y energéticos que implica la mejora del sistema de gestión de residuos interno de la empresa, con el objetivo de potencializar la productividad de la misma, además de aportar con la conservación y protección del medio ambiente
- Replicar la investigación basada en los resultados obtenidos en el presente trabajo técnico experimental, con la finalidad de mantener actualizada la fuente de información y de esa manera implementar de manera inmediata el sistema de producción de biogás a nivel de la empresa.
- Previo a la implementación de un sistema de obtención de biogás a escala industrial, se recomienda escalar un biodigestor a un mayor volumen con la finalidad de evaluar y controlar diariamente parámetros operativos al interior del mismo, tales como: pH, temperatura, conductividad, presencia de grasas y aceites, DBO y DQO. El control continuo y eficiente de los parámetros antes citados, garantizará un óptimo rendimiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M, et al., *Elaboración de un inventario de sustratos y materiales adecuados para ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España*. CICYT : Valencia, 1999. págs. 45 -61.

ABDURAHMAN, et al., *The Performance Evaluation of Anaerobic Methods for Palm Oil Mill Effluente (POME)*. 2013.

ALBARRACÍN, D. *Biblioteca del campo. Granja integral autosuficiente. Manual de la granja integral*. Santa Fé de Bogota : Disloque, 1995.

APPELS, Col. Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge. [En línea] (Reporte). *Researchgate*. 2008. [Consulta: 12 de febrero de 2018.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222180895_Principles_and_Potential_of_the_Anaerobic_Digestion_of_Waste-Activated_Sludge.

ARELLANO, Lucrecia y CRUZ, Magdalena. *El estiércol: material de desecho, de provecho y algo mas*. 2014, Instituto de ecología, págs. 6-7.

ARISTIZABAL, Catalina y SÁCHICA, María. *El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá D.C.*. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2001.

AZNIIDRIS, Siat. *Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de plama-proceso de la más avanzada tecnología*. 1995, Palmas, págs. 171-177.

BELTRAN, Catalina y PERDOMO, Willian. Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el matadero santa cruz de malambo atlantico. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia*. 2007. [Consulta: 12 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15765/T43.07%20B419a.pdf?sequence=1>.

BENZING, A. *Agricultura Orgánica. Fundamentos para la Región Andina*. Verlag : Editorial Neckar, 2001.

BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL, (BVS DEN). [En línea] (Reporte). 2012. [Consulta: 12 de febrero de 2018.] Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm.

BONGCAM, Elkin. *Guía para compostaje y manejo de suelos.* Bogota : Cinecia y Tecnología - Convenio Andrés Bello, 2003.

BONILLA, Mauricio. Guía para el manejo de los residuos en rastros y mataderos municipales. [En línea] (Reporte). *Comision federal para la proteccion contra riesgos sanitarios.* 2007. [Consulta: 18 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Guimanresrasmatmunmx.pdf>.

BUCHELI, Franklin. Manual de Gestión Ambiental. [En línea] (Reporte). *Bibliotecas Minucipales.* 2000. [Consulta: 20 de enero de 2018.] Disponible en: http://biblioteca.cuenca.gob.ec/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=5637.

BLANCO, et al., *Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba.* Cuba : s.n., 2011.

CARPOICA. *Produccion de abonos de buena calidad.* Bogotá : Produmedios, 2005.

CASCO, J y MORAL, R. *Compostaje.* Malaga : Editorial Mundi-Prensa, 2008.

CASTRO, Melba y VINUEZA, Manuel. Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el camal municipal de Riobamba. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo.* 2011. [Consulta: 24 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1294/1/26T00003.pdf>.

CENTRO DE DEMOSTRACIÓN Y CAPACITACIÓN, (CEDECAP). BIODIGESTOR DE POLIETILENO: CONSTRUCCIÓN & DISEÑO. *CEDECAP.* [En línea] (Reporte). 2007. [Consulta: 15 de enero de 2018.] Disponible en: http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf.

CHÁVEZ, Luis. Uso de desechos de camal (contenido ruminal, sangre y estiércol) en la elaboración de compost con la utilización de diferentes sustratos. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad de las Fuerzas Armadas, San Rafael, Sangolquí.* 2012. [Consulta: 27 de enero de 2018.] Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7926/3/T-ESPE-IASA-I-004753.pdf>.

CHAN, Y. et al., *Biological treatemnt of anaerobically digested palm oil mill effluent (POME) using a Lab-Scale Sequencing Bacht Ractor (SBR).* 2010.

COL, Degreve. *Metodos de aplicación de biogas.* 2011.

DÍAZ, M.J. et al., Usin a second order polynomials model to dtermine the optimun vinasse/grape marc gratio for in vessel composting. *Compost Sci.Util.* 2004, págs. 273-279.

DIBLACI, E. Energías limpias. [En línea] (Reporte). *Biogás.* 2004. [Consulta: 27 de enero de 2018.] Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/Index_biog.htm..

DOMINGUEZ, Alonso. *El abonado de los cultivos hortícolas.* España : Editorial Mundi Prensa, 1990.

DOMINGUEZ, Federico. Utilizacion de contenido ruminal fresco sustituyendo al rastrajo de maíz en la alimentación de vaquillas en finalización. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, México.* 2007. [Consulta: 28 de diciembre de 2017.] Disponible en: <https://es.slideshare.net/richardsuarezvelarde5/utilizacion-de-contenido-ruminal-fresco-sustituyendo-al-rastrajo-de-maiz-en-la-alimentacion-de-vaquillas-en-finalizacion>.

DORRONSORO, C. Edafología . [En línea] (Reporte). *Leccion 4. Estructura del suelo.* 2005. [Consulta: 01 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.edafología.net/introeda/tema04/estr.htm..>

ECURED. [En línea] 2018. [Consulta: 07 de febrero de 2018.] Disponible en: https://www.ecured.cu/Provincia_de_Orellana#Caracter.C3.ADsticas.

EMRAQ-RP. 2016. Ley de Mataderos. [En línea] (Reporte). *Empresa publica de rastros.* 2016. [Consulta: 04 de marzo de 2018.] Disponible en: <http://www.epmrq.gob.ec/>.

ESCUDERO, A. Energías alternativas. [En línea] (Reporte). 2011. [Consulta: 27 de enero de 2018.] Disponible en: http://www.dav.sceu.frba.utn.edu.ar/homovidens/cmем_generico/aliciaescudero/Proyecto%20final_CMEMG/biomasa.html.

FABA, L. *Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación.* 2014, Madera y Bosques, págs. 11-24.

FEDEPALMA y CENIPALMA. *Manual de Laboratorio, Plantas de beneficio primario para fruto de palma de aceite. Fondo de fomento Palmero.* Quito : s.n., 2010.

FERNANDEZ, E. *Procedimiento para la producción de Biogás.* Habana, Cuba : s.n., 2004.

FERNANDEZ, M. *Desulfuración de biogás en condiciones anóxicas mediante biofiltración*. España : s.n., 2001.

FÚQUENE, H. y RAMÍREZ, E. *Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá*. 2012, Gurpo de investigación GAIA, págs. 12-19.

GALINDO, T. *Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación*. Bogota : s.n., 2012.

GARCIA, L. *Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor*. Colombia : s.n., 2001.

GARNICA, Jesús. et al., *Manejo de efluentes de plantas extractoras*. 1997, Diseño de Lagunas de Estabilización. Boletín Técnico N°11.

GENERA4. Energías Renovables. [En línea] (Reporte). 2015. [Consulta: 01 de enero de 2018.] Disponible en: <http://www.genera4.cl/plantas-biogas.php>.

GUASUMBA, J. *Generación rápida de Biogas, como alternativa energética promisoría*. 2011, Centro de Investigaciones Energéticas, Tecnológicas y Ambientales, págs. 2-9.

GUERRA, A. y MARCILLO, L. *Abonos Orgánicos Fermentados. Folleto Educativo*. 2009.

GUERRERO, Jhoniers y RAMIREZ, Ignacio. *Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios*. 2004, Scientia Et Technica, págs. 199-204.

GUTIÉRREZ, G., et al., *Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía*. 2012, Ideas CONCYTEG, págs. 881-894.

GUZMÁN, Nimia. *La composta vegetal como alternativa para reducir los desperdicios de patio en el sistema de relleno sanitario de guayama*. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad de Turabo, Puerto Rico*. 2007. [Consulta: 07 de febrero de 2018.] Disponible en: http://ut.suagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2006-07/Guzman_N_Tesis_%20UT_2007.pdf.

HARRIS, P. *Begginers Guide to Biogas*. The University of Adelaide. [En línea] (Reporte). *Biogas*. 2014. [Consulta: 15 de febrero de 2018.] Disponible en: [http://www.adelaide.edu.au/biogas/..](http://www.adelaide.edu.au/biogas/)

HAUG, R. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. California : Lewis, 1993.

- HERNANDEZ.** *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid : s.n., 1992.
- HILBERT, J. y EPPEL, J.** *Desafíos y Estrategias para Implemetar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas*. Argentina : s.n., 2007.
- INCA, J.** *Diseño de un biodigestor para la obtención de Biogás a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola "Bilbao" en la parroquia Cotaló- Pelileo*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., 2016.
- INFANTES, P.** Diseño de Biodigestores.. [En línea] (Reporte). *Engormix*. 2012. [Consulta: 12 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/disenio-biodigestores-t976/p0.htm>.
- INFOAGRO.** El Compostaje. [En línea] (Reporte). *Fertirrigación en cultivos intensivos*. 2005. [Consulta: 21 de diciembre de 2018.] Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA, (IDAE).** *Biomasa: Digestores anaeróbicos*. 2007, Besel.
- IRENA. 2015.** Energías Renovables en América Latina en 2015: Sumario de Políticas. *IRENA.org*. [En línea] (Reporte). 2015. [Consulta: 04 de enero de 2018.] Disponible en: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Latin_America_Policies_2015_ES.pdf.
- ISMAIL, O., y ADEWOLE, O.** evaluating the biogas yield and desing of a biodigestor to geenrate cooking gas from human faeces. 2014.
- JAUREGUIBERRY, M.** *Efluentes Industriales*. Argentina : s.n., 2012.
- JHORAR, B.S. Et al.,** Kinetics of composting rice straw with glue waste al different C/N ratios in a semiarid environment. s.l. : Rehabil, 1991, págs. 297 - 306.
- KOHL, Nielsen.** *Gas Putification*. 1997.
- KOLB, Erich.** *Fisiología Veterinaria*. Zaragoza : Acribia, 1996.
- LLANEZA.** *Mecanismos de deshidratación del Biogás*. 2010.
- LÓPEZ, Rafael y CASP, Ana.** *Tecnología de Mataderos*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 2004.

LOZANO, C, et al., *Microbiological characterization and specific methanogenic activity of anaerobe sludges used in urban solide.* 2009.

MACÍAS, Brany. *Producción de Biogás a partir de aguas de la extractora la sexta a escala de laboratorio.* Quito : s.n., 2014.

MIHELICIC y ZIMMERMAN. Bioingeniería. [En línea] (Reporte). 2012. [Consulta: 07 de enero de 2018.] Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/home>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (MAE). *Tulsma Libro VI - Anexo 1 _ Acuerdo Ministerial 097-A.* Quito : s.n., 2017.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA, (MAGAP). *Boletín situacional. Palma africana.* Quito : Coordinación General del Sistema de Información Nacional , 2013, Coordinación General del Sistema de Información Nacional.

MELÉNDEZ, Gloria y SOTO, Gabriela. Taller de abonos orgánicos. [En línea] (Reporte). *Centro de investigaciones agronomicas.* 2003. [Consulta: 24 de enero de 2018.] Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.

MÉNDEZ, C. *Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás.* Bogotá : s.n., 2015.

MORENO, J y MORAL, R. *Compostaje.* Madrid : Mundi-Prensa, 2007. ISBN 13.

MORENO, J. *Diseño y construcción de un almacenador de biogás en concreto armado y formulación del programa de computación para el cálculo geométrico de digestores chinos.* Maracay : Facultad de agronomía U.C.V., 1988.

NAJAFPOUR, et al., *High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluente in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor.* 2005.

NOYOLA, A. *El tratamiento anaeróbico de aguas residuales como tecnología sustentable.* México : UNAM, 1995.

OBIDZINSKI, K., et al., *Environmental and social impacts of oil palm plantations and their implications for biofuel production in Indonesia.* 2012, Ecology and Society, pág. 17(1): 25.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA, (FAO). *Manual de Biogás.* 2011.

OZORES, Monica. *Guía para la utilización exitosa de compost en la producción de hortalizas.* 2010, IFAS Extension, págs. 1-2.

PADILLA, Gabriela. Caracterización de los desechos sólidos generados en el camal municipal del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, periodo 2013-2014. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi.* 2014. [Consulta: 27 de diciembre de 2018.] Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2707/1/T-UTC-00244.pdf>.

PARDO, N., et al., *Manual de Cultivos Orgánicos y Alelopatía (Vol. Segunda edición).* (F. Durán, Ed.). Colombia : Grupo Latino LTDA, 2009.

PEÑA, Elizabeth, y et al., Manual de abonos orgánicos para la agricultura urbana en cuba. [En línea] (Reporte). 2002. [Consulta: 11 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/342534/>.

PERALTA, J. y VAREA, L. *Diseño de procesos en Ingeniería Ambiental.* Madrid : UCLM, 2011.

PEREZ, Medel. *Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros,* 76. 2010.

PETITPIERRE, G. *Tratamiento del efluente del aceite de palma: la producción de biogás.* Palmas Colombia : s.n., 1983.

PHILLIPS, J. *Química conceptos y aplicaciones, 2ª edición .* México : Ed. Mac Graw-Hill, 2007.

ROMÁN, Pilar. et al., *Manual de compostaje del agricultor.* Santiago de Chile : FAO, 2013. ISBN/E-ISBN.

PRO ECUADOR. Aceite de palma y elaborados 2014. *Análisis sectorial.* [En línea] (Reporte). 2014. [Consulta: 03 de febrero de 2018.] Disponible en: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/05/PROEC_AS2016_ACEITEPALMA.pdf.

PRODUCTOS AGRI-NOVA SCIENCE. El cultivo de la palma africana. [En línea] (Reporte). 2013. [Consulta: 24 de febrero de 2018.] Disponible en: http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm.

RENOVETEC. Plantas de Biomasa. *Que es la Biomasa.* [En línea] (Reporte). 2013. [Consulta: 03 de enero 2018.] Disponible en: <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>.

REVOLORIO, H. *Diseño de un biorreactor de membrana para la regeneración de las aguas residuales en un establecimiento hotelero.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

RIERA, Vanessa. Optimización de los residuos generados en el proceso de faenamiento del ganado en el Camal del Cantón Chunchi Provincia de Chimborazo mediante el proceso de compostaje para su comercialización. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo.* 2016. [Consulta: 21 de diciembre de 2018.] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4961>.

RIGOLA, Lapeña. *TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: AGUAS DE PROCESO Y RESIDUALES.* BARCELONA : MARCOMBO, S.A., 1990.

ROTOPLAS. Biodigestores. *Roplas.* [En línea] (Reporte). 2016. [Consulta: 18 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.rotoplas.com.mx/productos/saneamiento/biodigestor-autolimpiable/>.

ROTHKOPF, L. *PRODUCTION OF BIODIESEL IN SWITZERLAND.* 2012, BIOFUELS PLATFORM, págs. 23-28.

SALAZAR, S. *Seguridad y desarrollo con mención de gestión pública y gerencia empresarial.* Quito : s.n., 1999.

SAVAL, S. *Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México.* México : Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. Vol.3, 1998.

SEÑER, A. *Obtención de biogás mediante fermentación anaerobia de residuos alimentarios.* 2005.

SILVA, Harold y SAMPERI, Jose. Guía básica de Manejo Ambiental de Rastros Municipales. *Programa Ambiental Regional para Centro América.* [En línea] (Reporte). 2004. [Consulta: 19 de enero de 2018.] Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjV2JGPwZ7WAhWFSSYKHbR1AgwQFgglMAA&url=http%3A%2F%2Fquimicaindustrialhn.com%2Frecursos%2Fdescargas%2Fdoc_download%2F257-guia-de-manejo-ambiental-de-rastros-municip.

SINGH, C. y AMBERGER, A. Humic Substances in straw compost with rock phosphate. *Biol. Wastes.* 1990, págs. 165-174.

SMART. El Fósforo en el suelo y agua. [En línea] (Reporte). 2013. [Consulta: 24 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/phosphorus..>

SOLARI, G. Ficha Técnica de Biodigestores. Universidad Alas Peruanas. Lima : s.n., 2014.

SOLIARI, G. *Proyecto de construcción de un sistema de digestión Batch de 10 metros cubicos de capacidad para la produccion de biogás utilizando los residuos vacunos.* Lima : Universidad alas Peruanas, 2004.

SCOTT y HOUSTON. *Measuring Irrigation Water.* California : s.n., 1959.

SUQUILANDA, Manue. *Serie Agricultura Orgánica.* Quito : Ups- Fundagro, 1996. ISBN 480.

SZTERN, Daniel y PRAVIA, Miguel. Manuel para la elaboracion de compost: Bases conceptuales y procedimeintos. [En línea] (Reporte). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.* 2000. [Consulta: 24 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>.

TAIBO, Agustín. Etapas del proceso de compostaje. [En línea] (Reporte). *Grupo de Gestión de Residuos.* 2009. [Consulta: 25 de febrero de 2018.] Disponible en: <https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-de-compostaje/>.

TECNOCIENCIA. *Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.* 1, 2010, , Vol. 4, págs. 1-6.

UICAB, L y SANDOVAL, C. *Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta.* 2003, Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 2, págs. 45-63.

VARNERO, M. *Manual de Biogás.* Chile : Ministerio de Energía de Chile, 2011.

VÁSQUEZ, Diego. Producción y evauación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnologica de uso de residuos organicos para la fertilización de pastos. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo,* 2008. [Consulta: 12 de febrero de 2018.] Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1503/1/17T0873.pdf>.

VERASTEGUI, L. *El biogas como alternativa energética para zonas rurales.* s.l. : OLADE, 1980.

WOOD, B. *Desarrollo de las aplicaciones de los efluentes de las plantas extractoras de aceite y caucho.* Colombia : s.n., 1989.

YEPES. Tecnologías para generar tu propia energía. *Energía Casera.* [En línea] (Reporte). 2013. [Consulta: 10 de febrero de 2018.] Disponible en: <https://energiacasera.wordpress.com/2010/01/23/biodigestor-de-bidon-pautas-de-uso/>.

ZUCCONI, F. Specifications for soli waste compost. *Biocycle* 28. 1987, págs. 56-61.

ZÚÑIGA, I. *Biodigestores.* Hidalgo México : Universidad autónoma del estado de Hidalgo, 2007.

ANEXOS

Anexo A: Análisis inicial del efluente.

 Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593) 06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003		
	INFORME DE ENSAYO N°: 112 184		SPS: 17 - 0 948	Análisis de agua	

Coca, 15 de abril de 2017

Sr. JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ.
Dirección: Coca.

1.- Datos generales:
Recogidas por..... Sr. Jairo Israel Tigse Sánchez.
Fecha hora de toma de muestra..... 2 017 04 06 10:30.
Fecha hora ingreso al Laboratorio..... 2 017 04 06 10:45.
Fecha del análisis..... 2 017 04 06 a 2 017 04 15.
Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 21,5°C
Código de LabSu..... Identificación de la muestra.
a 5 112..... Muestra de efluente residual de la Extractora Río Coca.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 5 112	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	-	6,70	PEE-LABSU-02	SM 4500-H ⁺ B	± 0,02
2	Sólidos totales	mg/L	26 100	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	*Sólidos totales volátiles	mg/L	19 300	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
4	*Sólidos suspendidos	mg/L	19 400	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	-
5	*Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	16 200	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
6	*Nitrógeno total	mg/L	414,8	PEE-LABSU-41	HACH 10071	-
7	*Demanda química de Oxígeno	mg/L	35 900	PEE-LABSU-89	HACH 8000	-
8	*Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	10 660	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	-

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Ldo. Joan Araluze Calderin
DIRECTOR TÉCNICO




Téc. Andres Solis Plaza
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

ANEXO B: Análisis final del efluente.

 Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villanquemade S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefon: (593)06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 112 531	
	SPS: 17 - 1 546	Análisis de agua

Coca, 25 de noviembre de 2017

Sr. JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ.

Dirección: Coca.

1.- Datos generales:

Recogida por Sr. Jairo Israel Tigse Sánchez
 Fecha hora de toma de muestra 2017 11 17 10:00
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2017 11 17 10:30
 Fecha del análisis 2017 11 17 a 2017 11 25
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Mix: 26,5°C T. Mue: 21,5°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 a 5 780 Muestra de efluente residual de la Extractora Río Coca.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Item	Parámetros	Unidad	a 5 780	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	~	7,40	PEE-LABSU-02	SM 4500-H* B	± 0,05
2	Sólidos totales	mg/L	3 225	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	*Sólidos totales volátiles	mg/L	2 900	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
4	*Sólidos suspendidos	mg/L	2 400	PEE-LABSU-36	SM 2540 D	-
5	*Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	7,50	PEE-LABSU-38	Gravimetría	-
6	*Nitrógeno total	mg/L	175,3	PEE-LABSU-41	(IAC) 10071	-
7	*Demanda química de Oxígeno	mg/L	3 100	PEE-LABSU-49	(IAC) 10000	-
8	*Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	1 650	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	-

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Lcedo. Joan Araluze Calderin
 DIRECTOR TÉCNICO




 Téc. Andros Solis Plaza
 RESPONSABLE CALIDAD

Nota: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

ANEXO C: Caracterización del biogás obtenido.

 <p>LABSU Laboratorio de Gases, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APÓSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villanueva S/N y Av. La Lata E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: 593(06)-2881105</p>		<p>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 112 531</p>		
SPS: 17 - 1 846		Análisis de #25	

Coca, 22 de diciembre de 2017

Sr. JAIRO ISRAEL TIGSE SÁNCHEZ.

Dirección: Coca.

1.- Datos generales:

Recogida por: Sr. Jairo Israel Tigse Sánchez.
 Fecha hora de toma de muestra: 2 017 11 17 10:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2 017 11 17 10:30.
 Fecha del análisis: 2 017 11 17 a 2 017 11 25.
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Mix: 26,5°C T. Min: 21,5°C
 Código de LabSo: Identificación de la muestra.
 g 5 780: Muestra de efluente residual de la Extractora Rio Coca.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Item	Parámetros	Unidad	g 5780	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Metano (CH ₄)	%	57.5	PEE-LABSU-12	Conductividad térmica	± 0.05
2	*Dióxido de carbono (CO ₂)	%	39.9	PEE-LABSU-49	Conductividad térmica	± 0.05
3	*Sulfuro de Hidrogeno	%	0.1	PEE-LABSU-38	Colorimetría	-± 10 %
4	*Oxígeno (O ₂)	%	1.0	PEE-LABSU-17	Conductividad térmica	± 0.05
5	*Hidrogeno (H ₂)	%	1.5	PEE-LABSU-14	Conductividad térmica	± 0.05

3.- Responsables del Informe:





Autorización: Ledy Joan Arcoche Calderín
 DIRECTOR TÉCNICO

Téc. Andrés Solís Plaza
 RESPONSABLE CALIDAD

Nota: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohíbida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC003-04

Página 1 de 1