UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

CALIDAD DEL BIOGAS A PARTIR DEL EFLUENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA A NIVEL PILOTO EN "INDUSTRIAS OLEAGINOSAS MONTE ALEGRE" S.A. (INDOLMASA), DISTRITO DE NESHUYA, DEPARTAMENTO DE UCAYALI; NOVIEMBRE DEL 2017.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

JOHN DEXIL LLOJA MELENDEZ

PUCALLPA – PERU

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYAL

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 66

En el laboratorio de informática de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales – UNU, siendo las once horas con 17 minutos del día miércoles 16 de mayo del 2018, en cumplimiento al memo múltiple 081-2018-UNU-FCFYA-CGT, se reunieron los miembros del jurado evaluador, conformado por los docentes:

- Dr. Carlos Panduro Carbajal (Presidente).
- Mg. Melchor Herbert Dolmos Castro (Secretario).

Para evaluar la sustentación y defensa del trabajo de investigación (Tesis) denominado: "Calidad del biogás a partir del efluente de la planta extractora de aceite de palma, a nivel piloto en Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. (INDOLMASA), Distrito de Neshuya, Departamento de Ucayali; Noviembre de 2017". Presentado por el Bachiller **John Dexil Lloja Meléndez.**

Terminada la sustentación se procedió a realizar las preguntas por parte del jurado, las cuales fueron absueltas por el sustentante. En consecuencia, la tesis fue **APROBADO** por **MAYORÍA**; quedando expedito para el otorgamiento del título de Ingeniero Ambiental.

Siendo las doce horas con 15 minutos, se dio por finalizado el acto académico, no habiendo inconvenientes. Firmamos el acta en señal de conformidad.

Dr. Carlos Panduro Carbajal
Presidente

Mg. Melchor Herbert Dolmos Castro
Secretario

ACTA DE APROBACIÓN

Está tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali Integrada por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal _____

Presidente

Dr. Héctor Quispe Cerna _____

Miembro

Mg. Melchor Herbet Dolmos Castro _____

Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco _____

Asesor

Ing. Jesús Cotrina Barrueta _____

Co - Asesor

Bach. John Dexil Lloja Meléndez _____

Tesista

DEDICATORIA

A mi hijo, Adriano Stephano Lloja Aranda, el ser que más he amado en el planeta, por quien me desviví hasta el último día de su vida, y quien me enseñó lo que es el verdadero amor.
Aunque hoy no pueda verlo y jugar con él, siempre está en mis pensamientos y en mi corazón, dándome fuerzas y motivándome para salir adelante cada día.

A mis padres Francisco Lloja Lozano y Semira Meléndez Tuesta, quienes, con sus apoyos incondicionales, consejos y amor, he logrado salir adelante, con todas las pruebas duras que me puso la vida.

A la persona que me dio la oportunidad de ser padre, a mi novia Lady Milagros Aranda Lozano, que con su apoyo estoy logrando cumplir una de mis metas en esta vida.

A Dios que con todas las duras cosas que pude vivir, siempre ha estado en caminándome en esta vida, enseñándome y brindándome esperanzas para crear un mundo mejor.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Francisco Lloja Lozano y Semira Meléndez Tuesta, por ser mis forjadores de la vida, mis motivadores y mis grandes admiraciones personales.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme la oportunidad de formarme profesional en mi carrera.

A los docentes de la escuela profesional de ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas, exigencias, motivación en cada materia estudiada.

A mi asesor Dr. Grober Panduro Pisco, por la oportunidad de realizar mi tesis en su proyecto, por su dedicación, confianza y amistad.

A mi Co-asesor ing. Jesús Cotrina Barrueta, por sus exigencias y apoyo en el desarrollo de la tesis

Al ing. Kelsen Arbaiza Peña, por su apoyo durante el proceso de la tesis.

A la empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A., por abrirnos sus puertas para el desarrollo de la tesis.

Al Señor Norberto Angulo García, gerente de INDOLMASA, por la oportunidad de laborar en la empresa y de permitirme llevar la tesis a la par.

A mi novia Lady Milagros Aranda Lozano, por su ayuda en el muestreo de datos y cargas del efluente.

A mis amigos del proyecto bioenergía, por su apoyo desinteresado en la ejecución del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTO iiii
ÍNDICE DE CONTENIDO iv
INDICE DE TABLAS vi
INDICE DE FIGURAS viiii
INTRODUCCION 1
CAPITULO I 3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA 4
General 4
Específicas. 4
CAPITULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1. Antecedentes 5
2.2. Cambio Climático 8
2.2.1. Gases de Efecto Invernadero (GEI) 9
2.2.2. Gas metano 10
2.2.3. Formas de producción del gas metano 12
2.4. Estudio de los efluentes de plantas extractora en Colombia 13
2.5. Palma Aceitera en el Perú 15
2.5.1. Palma Aceitera en Ucayali 16
2.6. Fermentación anaeróbica 21
2.7. Biogás 22
2.7.1. Propiedades físicas y físico- químico del biogás 22
2.7.2. Calidad de Biogás 24
2.7.3. Etapas de la digestión anaeróbica: 26
2.7.4. Parámetros del proceso anaerobio 28
2.7.5. Microorganismos involucrados en el proceso de conversión bioquímica 31
2.8. Biodigestor 34
2.8.1. Clasificación de Biodigestor 35
2.8.2. Tipos de Biodigestores: 36
2.8.3. Construcción de Biodigestor: 39
CAPITULO III 40

METODOLOGÍA 40
3.1. Método de la investigación 40
3.2. Ubicación, población y muestra. 41
3.2.2. Población 42
3.2.3. Muestra 42
3.3. Diseño de la investigación 42
3.4. Hipótesis 43
3.5. Componentes de estudiados 43
3.6. Análisis estadístico 43
3.7. Instrumentos de recolección de datos 43
3.7.1. Materiales, equipos y herramientas 43
3.8. Procedimiento de recolección de datos. 44
3.8.1. Caracterización de los efluentes del INDOLMASA. 44
3.8.2. Instalación de biodigestores 46
3.8.3.Tratamiento de los biodigestores 51
3.8.4. Cargas a los biodigestores 52
3.8.5. Monitoreo de la concentración % $CH4$, % $CO2$, temperatura interna en los biodigestores 55
CAPITULO IV 57
RESULTADOS Y DISCUSIÓNES 57
4.1. CONCENTRACION DE METANO Y PODER CALORÍFICO. 57
4.1.1. Concentración de metano (CH_4) en función al tratamiento 57
4.1.2.1. Calculo del poder calorífico 65
4.2. Determinación del potencial energético del biogás. 67
4.2.1. Rendimiento o productividad de biogás por 1 m^3 de efluente de palma de aceite 67
4.2.2. Biogás total producido en INDOLMASA 70
4.2.3. Consumo de biogás por energía eléctrica 70
CAPITULO V 72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 72
5.2. Recomendaciones. 72
BILIOGRAFÍA 74
ANEXOS 79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero……..	9
Tabla 2.	Característica del metano……...	13
Tabla 3.	Rendimientos del procesamiento del fruto de la palma de Aceite en Colombia……..	14
Tabla 4.	Caracterización de efluentes de plantas extractora en Colombia……	14
Tabla 5.	Evolución de cultivo de palma entre los años 2008 al 2012……	16
Tabla 6.	Monitoreo de los residuos de la planta extractora OLPASA…….....	16
Tabla 7.	Monitoreo de las aguas residuales en la planta extractora OLPASA……	17
Tabla 8.	Cronología del desarrollo del biodigestor anaeróbico……	21
Tabla 9.	Composición química del biogás……...	22
Tabla 10.	Propiedades físicas y química del biogás……	22
Tabla 11.	Propiedades fisicoquímicos del biogás……...	23
Tabla 12.	Propiedades de una composición estándar de biogás……..	23
Tabla 13.	Carga del reactor y su producción de biogás……..	24
Tabla 14.	Composición y rendimiento de biogás de diferentes materias primas……...	24
Tabla 15.	Condiciones óptimas para el crecimiento de metanogénicas..	28
Tabla 16.	Tiempo de retención……..…….	29
Tabla 17.	Relaciones Carbono/ Nitrógeno de materias primas de sistemas de biogás…….……	30
Tabla 18.	Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás…….……	30
Tabla 19.	Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases……..……	32
Tabla 20.	Ancho, profundidad y longitud de la fosa……	39
Tabla 21.	Caracterización de los efluentes del proceso de extracción de aceite crudo en INDOLMASA…..…….	45
Tabla 22.	Análisis estadístico ANOVA de la concentración de metano y poder calorífico del biogás……..	57
Tabla 23.	Prueba HSD tukey de los tratamientos en concentración de metano……...	57
Tabla 24.	Prueba HSD tukey de los tratamientos con respecto al poder calorífico……..……..……	64
Tabla 25.	Indicadores para la producción de energía eléctrica en la planta de extracción de aceite de palma, (INDOLMASA)……..	67
Tabla 26.	Demanda química de oxígeno (DQO) medido al inicio y al final del tratamiento…….	68
Tabla 27.	Variables para determinar el rendimiento o productividad de	

biogás por m^3 de efluente……. 69
Tabla 28. Temperatura y humedad promedio durante el tiempo de retención…… 79
Tabla 29. Porcentaje de metano en los tres tratamientos durante tiempo de retención hidráulica…….. 80
Tabla 30. Temperatura interna de cada tratamiento durante tiempo de retención hidráulica…….. 81
Tabla 31. Porcentaje de Dióxido de carbono por cada tratamiento…….. 82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones antropogénicas Mundiales de Metano estimadas por fuente, 2010……..……. 10
Figura 2. Emisiones Antropogénicas Mundiales de Metano estimadas y proyectadas por fuente, 2010 y 2020……..… 11
Figura 3. Emisiones antropogénicas mundiales de metano por sector……..……..……..……... 11
Figura 4. Origen del metano……..…….. 13
Figura 5. Flujograma de proceso de extracción de aceite crudo de palma…..…….……..……. 19
Figura 6. Flujograma de proceso de extracción de harina y aceite de palmistedo……..…… 20
Figura 7. Biodigestor Chino……..……. 37
Figura 8. Biodigestor Hindú……..……... 38
Figura 9. Biodigestor horizontal……..……..…….. 38
Figura 10. Mapa de ubicación del área de estudio, "INDOLMASA"…. 41
Figura 11. Laguna de efluente de la empresa INDOLMASA.…… 42
Figura 12. Válvula de ingreso de carga a los biodigestores. …… 46
Figura 13. Toma de muestra del efluente para su análisis respectivo. 46
Figura 14. Salida del biol y biosol para la toma de muestra. …… 46
Figura 15. Gasómetros de cada biodigestor. …….. 46
Figura 16. Dimensiones de la zanja, según ancho de rollo. ……. 49
Figura 17. Vista Lateral de los biodigestores (cm). …… 49
Figura 18. Vista frontal de los biodigestores (cm). …… 49
Figura 19. Cortes transversales del dimensionamiento de las zanjas para la instalación. …… 50
Figura 20. Acondicionamiento del área de trabajo para la instalación de los biodigestores. ……. 50
Figura 21. Adecuando para la instalación de los biodigestores. …….. 51
Figura 22. Diseño tipo tubular de los biodigestores. …….. 51
Figura 23. Sustrato de rumen de vacaza apara carga de biodigestores…….. 52
Figura 24. Sustrato del efluente de palma aceitera para carga de digestores…… 52
Figura 25. Instalación del sifón, para la carga del efluente en el tanque…….. 52
Figura 26. Tanque de almacenamiento y homogeneizador de efluente…… 53
Figura 27. Biodigestores para carga diaria de 250 litros. ……. 54
Figura 28. Sistema de tuberías para carga de biodigestores. ……. 54
Figura 29. Prototipos de biodigestores con tres tratamientos distintos…… 54
Figura 30. Acondicionando tubos de plástico para instalar sensores.. 55
Figura 31. Instalación de sensores de CH_4, CO_2. …….. 55
Figura 32. Sensor conectado a internet, el cual nos brinda datos a una plataforma virtual. ……. 56
Figura 33. Concentración de metano según volumen de efluentes del proceso de extracción de aceite crudo de palma. ……..... 58

Figura 34. Concentración de metano según volumen de rumen de vacaza utilizado en cada tratamiento. ……... 58
Figura 35. Comportamiento de la concentración del metano del día 0 al día 13 (31 de octubre al 13 de noviembre). ……. 59
Figura 36. Comportamiento de la concentración del metano del día 13 al día 30 (13 de noviembre al 30 de noviembre). …….. 60
Figura 37. Comportamiento de la concentración del metano del día 0 al día 30 (31 de octubre al 30 de noviembre). ……. 60
Figura 38. Comportamiento de la concentración del Dióxido de carbono del día 13 al día 30 (13 de noviembre al 30 de noviembre). …… 61
Figura 39. Comportamiento de la temperatura interna en los biodigestores en cada tratamiento del día 1 al día 30. (31 de octubre al 30 de noviembre). ……. 62
Figura 40. Comportamiento de la temperatura ambiente y humedad relativa durante los 30 días de retención hidráulica (31 de octubre al 30 de noviembre). …….. 63
Figura 41. Comparación del poder calorífico obtenido de tres tratamientos…..... 66
Figura 42. Poza de retención del efluente del proceso de extracción.. 87
Figura 43. Análisis en campo del efluente. …….. 87
Figura 44. Análisis en laboratorio del efluente. ……... 87
Figura 45. Análisis DQO del efluente en espectrofotómetro. …… 87
Figura 46. Tolda para protección de las zanjas ante las lluvias. …….. 88
Figura 47. Zanjas y depósitos de biol en área de estudio. …… 88
Figura 48. Acondicionamiento de las zanjas para instalación de biodigestores……... 88
Figura 49. Sistema de tubería para carga de biodigestores. …… 88
Figura 50. Suministro de aire a los biodigestores para verificar condiciones de la zanja. …….. 88
Figura 51. Mezcla de cal + agua. …….. 89
Figura 52. Pesaje de Cal. ……. 89
Figura 53. Peachímetro para medición del pH. …….. 89
Figura 54. Muestra de 100 ml para control de pH. ……. 89
Figura 55. Instalación de barómetro para medición de presión del biogás…….. 89
Figura 56. Protección de 24 horas de los biodigestores con tolda por presencia de lluvias. ……. 89
Figura 57. Sensores para monitoreo de estudio. …… 90
Figura 58. Diseño de sifón para carga a los biodigestores. …….. 90
Figura 59. Agitadores del sustrato. ……... 90
Figura 60. Salida del biol. ……. 90
Figura 61. Revisión del llenado del Tanque de homogenización con efluentes…….. 90
Figura 62. Rumen de vacaza para carga del B2 Y B3. ……. 90
Figura 63. Casa de seguridad para protección el sistema arduino…. 91
Figura 64. Instalación de sensores de monitoreo. …….. 91
Figura 65. Tanque de Homogenización de 2500 litros. …… 91
Figura 66. Prototipo de biodigestores mediante tres tratamientos con sustrato de efluente de palma y rumen de vacaza. ……. 91

Figura 67. Gasómetro de 2m^3. ……... 91
Figura 68. Gasómetros de cada biodigestor. …….. 91

RESUMEN

La investigación busca demostrar que el biogás que se genera a partir de los efluentes de la planta extractora de aceite de palma a nivel piloto, es de calidad.

Para ello se mide la concentración de metano, la concentración de Dióxido de Carbono a través de sensores especializados, el poder calorífico y el potencial energético a través de cálculos matemáticos.

Este estudio consta de tres biodigestores tubulares a escala piloto de volumen de $10\,m^3$ cada uno, y con cargas distribuidas de la siguiente manera: Biodigestor 1 (B1), 100% efluentes de palma, biodigestor 2 (B2) es 98,67% efluentes + 1,33% rumen de vacaza y Biodigestor 3 (B3) 96% efluentes + 4% rumen de vacaza.

Los resultados obtenidos demostraron que el B3 es el de mejor calidad de biogás por obtener un 54,14% de metano con un poder calorífico de 5123,8096 Kcal/m^3; en segundo lugar, el B1 con una concentración de metano de 50,15% y un poder calorífico de 4746,196 Kcal/m^3; por último, el B2 con una concentración de metano de 49,31% y un poder calorífico de 4666,6984 Kcal/m^3.

Palabras Claves: Efluentes, Biogás, Biodigestores.

SUMMARY

The research seeks to demonstrate that the biogas that is generated from the effluents of the palm oil extraction plant at pilot level, is of quality.

To do this, measure the methane concentration, the concentration of Carbon Dioxide through specialized sensors; and the calorific power and the energetic potential through mathematical calculations

This study consists of three pilot scale biodigesters with a volume of $10\,m^3$ each, and with loads distributed as follows: Biodigester 1 (B1), 100% palm effluent, biodigester 2 (B2) is 98,67% effluents + 1,33% cow rumen and biodigester 3 (B3) 96% effluents + 4% cow rumen.

The results obtained showed that B3 is the one with the best biogas quality for obtaining 54,14% of methane with a calorific value of 5123,8096 Kcal m^3 ; second, B1 with a methane concentration of 50,15% and a calorific value of 4746,196 Kcal /m^3; finally, the B2 with an ethane concentration of 49,31% and a calorific value of 4666,6984 Kcal / m^3.

Key words: Effluents, Biogas, Biodigestors

INTRODUCCION

El problema ambiental generado por los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma son: La contaminación de aguas superficiales al ser vertidos sin ningún tipo de tratamiento; contaminación de aguas subterráneas, que al no contar con una geomembrana en las pozas artesanales que son almacenadas, provoca la infiltración afectadas las aguas del subsuelo y la contaminación atmosférica que al contener alta carga orgánica y al descomponerse en la intemperie, genera emisiones de gases de efecto invernadero.

Las plantas extractoras de aceite de palma, se están desarrollando de manera acelerada, cada año aumentan su producción por lo que la cantidad de efluentes que se producen también va en aumento, es por ello que se requiere dar solución a este problema ambiental, para garantizar la conservación y preservación de especie hidrobiológicos, flora y fauna y una calidad de vida a la población, en las zonas donde están ubicados las plantas extractoras.

Como alternativa de solución a este problema de contaminación ambiental, se pretende con la tecnología de los biodigestores demostrar que se puede dar un uso aprovechable a este problema, para generar una fuente de energía renovable como el biogás. Países como honduras, Colombia, Tailandia lo están aplicando y están teniendo buenos resultados en producción de biogás a partir de los efluentes de planta extractora, obteniendo resultados de concentración de metano entre 58% a 65%, volumen de 20 a 35 m^3 de biogás por tonelada de RFF procesado, 0,95 a 2,25 MW de potencial energético y reduciendo anualmente promedios de 41000 toneladas de emisiones de CO_2.

Es por ello que el objetivo general del estudio es Evaluar la calidad del biogás a partir del efluente de la planta extractora de Aceite de palma a nivel piloto en “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. (INDOLMASA) en la época del mes de noviembre del 2017, y los objetivos específicos son: Determinar la concentración de metano cuando se trata con dos concentraciones de sustrato, determinar el poder calorífico del Biogás cuando se trata con dos concentraciones de sustrato y determinar el potencial energético del biogás.

La tesis consta de tres experimentos a escala piloto, para lo cual se llevará a cabo un control de los parámetros de % CH_4, % CO_2, Temperatura interna a través de sensores especializados instalados en el interior de los biodigestores, conjuntamente a través de un termohigrómetro se monitoreará la temperatura del ambiente y la humedad relativa y a través de cálculo matemático se determinará el Poder calorífico y el potencial energético.

Este estudio es parte o componente de un proyecto de investigación titulado "Generación de Energía eléctrica y biabono a partir de lodos de planta extractora de aceite de palma" financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innóvate Perú) del Ministerio de la Producción y ejecutado por Negocios Amazónicos Sustentables E.I.R.L. (NEGASUS).

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las tecnologías para las extractoras de aceite de palma, han ido evolucionando en los últimos años, y masificando su producción, es por ello que la cantidad de efluentes producidos también ha ido en aumento, esto ha generado que los volúmenes de vertimientos se ha mayor y al no tener tratamiento ha generado un gran impacto negativo a las aguas superficiales, a las aguas subterráneas por infiltración y por un proceso de descomposición, aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera. (Cuellar, S., 2016a).

Se debe dar solución a este problema ambiental, porque los recursos hidrobiológicos, la flora y la fauna que rodea a estas plantas extractoras son recursos que necesita la población para poder vivir, ya que los peces son obtenidos de las quebrabas y ríos, algunas especies sirven como alimento para la población y la flora que brinda ese oxígeno puro y necesario para los pulmones. Es decir, se requiere de solución inmediata para garantizar una adecuada calidad de vida de las personas. (Cuellar, S., 2016).

Sin embargo, las empresas de planta extractora también han generado oportunidad de trabajo a la población, no obstante, estos residuos que se generan también afectan negativamente con problemas odoríferos, por ello nace la necesidad de plantear alternativa de solución a este problema, con viabilidad económica, social y ambiental. (Avendaño, C. & Martínez,G. 2015).

Contamos con una política energética del Perú 2010 – 2040, que indica que uno de sus objetivos políticos es contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética y desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental

y bajas emisiones de carbono en un marco de desarrollo sostenible. (DGEE, 2010).

Existen diversas tecnologías para brindar tratamiento a este problema de las plantas extractora, sin embargo, son muy costosas, y su mantenimiento e insumos necesarios se convierten en gastos adicionales a las empresas, sin ningún tipo de retorno económico para ellas. La tecnología de los biodigestores busca aprovechar estos residuos y generar fuente de energía como el biogás y un fertilizante orgánico como el biabono para nutrir los suelos, es por ello que es una de las tecnologías que garantiza su tratamiento y que puede generar ingresos económicos a las diversas empresas de palma aceitera.

Es por ello que nace la necesidad de estudio a escala piloto utilizando biodigestores tubulares que aprovechen los efluentes para generar biogás, y responder al problema principal ¿Cuál es la calidad de biogás a partir del efluente de la planta extractora de aceite de palma a nivel piloto en “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.?, y demostrar que esta tecnología pueda dar solución a este problema ambiental en en las diversas plantas extractora de Ucayali y por consiguiente masificar la tecnología en el Perú donde exista extractoras de aceite de palma.

1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

General

- ¿Cuál es la calidad de biogás a partir del efluente de la planta extractora de aceite de palma a nivel piloto en “Industrias Oleaginosas Monte Alegre” S.A. (INDOLMASA)?

Específicas.

- ¿Cuál será la concentración de metano del biogás cuando se trata con dos concentraciones de sustrato?
- ¿Cuál será el poder calorífico del biogás cuando se trate con dos concentraciones de sustrato?
- ¿Cuál será el potencial energético del biogás estudiado?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los biocombustibles y el biogás son una alternativa para la sustitución de combustibles fósiles como gasolina, diesel y gas, especialmente en zonas apartadas de la región donde el sistema eléctrico no es constante o tiene problemas de conexión, donde se usarían estos combustibles para generar energía eléctrica; mejorando las condiciones económicas, sociales y ambientales de una comunidad en particular. Por otro lado, el desarrollo de estas tecnologías debe formar parte de la estrategia de medianos y grandes empresarios para reducir el consumo energético en las empresas, aplicando los principios de ecoeficiencia, desarrollos MDL y certificaciones ambientales que den un valor agregado al producto y abren mercados internacionales (Núñez, 2012).

Trañas, C.F. (2009), realizo un trabajo en una empresa agroindustrial de palma aceitera en Guatemala, en donde determino que el poder calorífico de la Raquis (escobajo) de palma (Mj/Kg), fue de 15,38 Mj/Kg, esto equivale a 3,674 Kcal/Kg y a 6,613 Btu/Lb.

Según Kervyn, B. (2009), Honduras es hoy en día el país del mundo con el mayor número de plantas de biogás MDL en operación en extractoras de aceite de palma. BIOTEC ha construido y está operando la planta de la Cooperativa HONDUPALMA (240,000 T/año) y está construyendo una segunda planta de biogás para EECOPALSA, justificada por el gran crecimiento de la extractora Palmas de Centroamérica (PALCASA) que alimenta Eecopalsa en efluentes, y por la rentabilidad de la inversión en la primera unidad.

Según Amaris, R. (2009), en Colombia el municipio de Tumaco el mayor volumen de residuos de la extracción de aceite de palma, los cuales pueden generar un potencial energético anual de 2820,37 TJ. Esta energía podría ser aprovechada para la generación eléctrica o para compensar los

requerimientos energéticos que tienen las plantas extractora de aceite de palma.

Las aguas residuales de la planta refinadora de aceite de soja no cumplen con las especificaciones de vertido y el tratamiento anaerobio aplicado remueve más del 90% de la materia orgánica, alcanzándose una producción de metano de 2 056ml en 33 días de experimentación y una velocidad máxima de degradación de la materia orgánica de 0,3gDQO_{CH4}/día en los primeros 15 días (Fernández, M., Abalos, A., Crombet, S. & Caballero, H., 2010).

Merced, J. (2012), realizó la evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo, alimentado con estiércol de vaca y agua. Se realizaron tres corridas de experimentación. La dilución de la materia orgánica en la primera y segunda corrida fue de 2:1 y en la tercera 3:1. La temperatura de operación del biodigestor (21 – 40 °C), el pH (7,06 – 7,22) y la DQO (290 ppm) estuvieron dentro de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metanogénicas. Se observó que la radiación solar y la temperatura del medio ambiente no influyen en las condiciones de operación del biodigestor.

Según Cerda, E. (2013), los tres canales principales de producción de biogás en la UE son los siguientes: desgasificación de vertederos (26,8 %) de producción en 2010), plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes industriales (9,8 %) y otras plantas diseñadas expresamente para conversión energética a través de metanización (63,4 %). Mientras Alemania ha optado por promover el desarrollo de plantas que traten residuos agroindustriales y cultivos energéticos, Reino Unido se ha centrado en la producción de biogás a partir de la desgasificación de vertederos. Países como China, India y Bangladesh han optado también por el uso del biogás como instrumento de desarrollo rural que permite el acceso de energía a zonas desfavorecidas.

Según Baten, B. (2013), la implementación de un biodigestor en una extractora de aceite de palma africana ubicada en Tecún Umán, San Marcos, dicho proyecto actualmente aprovecha el biogás para generar

electricidad para las plantaciones aledañas de banano en sustitución de motores diésel de las bombas de riego utilizando motores eléctricos.

Según Baten, B. (2013), optado por granjas avícolas, bovinas y porcinas en Guatemala que han implementado biodigestores para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la actividad animal, siendo una tecnología rentable y que ha logrado la independencia energética aprovechando la mayor cantidad de biogás para las necesidades térmicas de las plantas.

La extractora de aceite Tequedama en Colombia, realizó dos proyectos en el 2011 captura y mitigación del metano y 2013 generación de electricidad, siendo estos proyectos parte del proyecto sombrilla por el UNFCCC a FEDEPALMA. Obteniendo Biogás con un % CH_4 de 65% y un potencial de generación de energía eléctrica de 2, 25 MW, permitiendo reducir el 50% de las emisiones de metano a la atmosfera (UNNFCC, 2013a).

La empresa aceites Manuelita en Colombia es un claro ejemplo de la optimización del uso del biogás en los diferentes procesos energéticos, bien sea térmicos o de generación de energía eléctrica, donde inicio un proyecto con bioreactores desde enero del 2014, obteniendo un 35 m^3 de biogás por RFF y un % de CH_4 de 56%, generando energía eléctrica de 1,4 MW (Manuelita, 2014).

Según Garzón, P. (2015), realizó un estudio de obtención de gas metano a partir del agua residual del proceso de extracción de aceite crudo de palma y acetato como sustratos en biodigestores experimentales, sus resultados demuestran que el porcentaje de remoción de DQO más alto que se alcanzó en el biodigestor fue de 89,2%. La mayor tasa de generación de metano fue 83,14 mL d-1 con una carga orgánica de 0,28 g DQO L-1 d-1.

En Colombia 6 de 65, En Malasia 60 de 430 y Guatemala 4 de las 16 plantas extractora de aceite capturan y utilizan el biogás (Cuellar, S., 2016a).

En Honduras la empresa Eecolpasa produce biogás a través de procesos anaeróbicos y lo utilizan para abastecer su propia energía eléctrica dentro

del proceso productivo. Además, obtienen ingresos por venta a excedentes por la red y los CERs (Cuellar, S., 2016).

En honduras el 60% de las extractoras de aceite de palma aprovechan el biogás para generar energía eléctrica. Esto se debe a la normativa de Honduras que involucra el uso y aprovechamiento del Biogás, por este motivo implementan estos proyectos (Cuellar, S., 2016).

En Tailandia, las empresas extractoras SIAM, LAMTHAP, TOPI se implementó proyecto de captura de metano, generación y venta de energía eléctrica, la reducción de GEI y venta de CER. Obteniendo biogás entre 19 a 24m^3 por RFF y una concentración de metano de 58% y un potencial de generación de energía eléctrica entre 0,95 y 2, 85 MW (Cuellar, S., 2016d).

Palmas del espino ubicado en Palmawasi, Uchiza en San Martin, realizo un proyecto registrado por la Convención Marco de las Naciones unidas sobre el cambio climático con sus siglas en inglés (UNFCC), desde setiembre del 2007, reemplazando el combustible fósil, por nueva fuente de energía renovable obteniendo 19m^3 de biogás por RFF, con % de CH_4 entre 60 a 65%, reduciendo anualmente un promedio de 41,000 toneladas de las emisiones de CO_2, (UNFCC, 2013b).

2.2. Cambio Climático

El cambio climático es un fenómeno complejo que esta indefectiblemente ligado al estilo de desarrollo lo que se puede expresar en ocho tesis. El conjunto de estas tesis permite argumentar que el cambio climático es uno de los grandes retos del siglo XXI atendiendo a sus características, causas y consecuencias globales y asimétricas. En efecto el cambio climático, originado fundamentalmente por las emisiones de origen antropogénico, está induciendo modificaciones en los patrones de precipitación, alza el nivel del mar y reducción de la críosfera y eventos climáticos extremos (IPCC, "Summary for Policymakers", Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Figth Assessment Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change, eds T. F. Stocker y otros , 2013). El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global que se deriva del estilo de desarrollo que tiene

dos caracteríscas esenciales: es una paradoja temporal, esto es el cambio climático es un fenómeno de largo plazo pero que requiere atención inmediata, y es un fenómeno global pero asimétrico, esto es América Latina y el Caribe no es una región con emisiones históricamente relevantes pero es particularmente vulnerable a sus impactos (Galindo, L. & et al, 2015).

2.2.1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los principales GEI emitidos por las actividades antropogénicas a nivel mundial son el dióxido de carbono CO_2, el metano CH_4 y el óxido nitroso (NO_2). Globalmente, la causa principal del incremento en las emisiones de éstos GEI son las actividades relacionadas con el sector energético que representan 26% de las emisiones, seguido del sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y de manejo de desechos (3%) (IPCC, 2013. Aunque las actividades agrícolas son la cuarta causa de emisiones de GEI, este sector emite grandes cantidades de los llamados "gases que no son CO_2 (Montzka, S., Dlugokencky, E. & Butler. J., 2011). Estos gases incluyen al (NO_2 y el CH_4 con un poder de calentamiento 265 y 28 veces, respectivamente, mayor en comparación con el CO_2 en un escenario a proyectado a 100 años (IPCC, 2013).

Tabla 1.
Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero.

Gas	Potencial de calentamiento (Equivalente a CO_2)
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310
SF_4	23900
PFC	9200
HFC	11700

Fuente. (CNE, 2006)

2.2.2. Gas metano

El metano es además un potente y abundante “gas de efecto invernadero” (GEI) el cual lo convierte en un importante contribuyente al cambio climático, especialmente a corto plazo (es decir, 10-15 años). El metano es emitido durante la descomposición del desperdicio orgánico.

El metano ocupa el segundo G.E.I. más abundante después del dióxido de carbono, es responsable del 14 por ciento de las emisiones a nivel mundial. Aunque el metano es emitido en la atmósfera en cantidades más pequeñas que el CO_2, su potencial para el calentamiento global (por ejemplo, la capacidad del gas para atrapar el calor en la atmósfera) es 25 veces mayor. Por consiguiente, las emisiones de metano actualmente contribuyen en más de un tercio del calentamiento antropogénico actual. Global Methane Iniciative (GHC, Emisiones globales de metano y oportunidades de atenuación. Obtenido de Global Methane Iniciative, 2010).



Figura 1. Emisiones antropogénicas Mundiales de Metano estimadas por fuente, 2010, Fuente. Global Methane Iniciative.

Se estimó que las emisiones antropogénicas mundiales de metano en 2010 fueron equivalentes a 6,875 millones de toneladas métricas de CO_2 (MMTCO_2). Aproximadamente el 50 por ciento de estas emisiones provinieron de cinco fuentes identificadas por la Iniciativa Global de Metano (GMI): agricultura, minas de carbón, vertederos, sistemas de petróleo y gas natural y aguas de desecho.



Figura 2. Emisiones Antropogénicas Mundiales de Metano estimadas y proyectadas por fuente, 2010 y 2020; Fuente. Global Methane Iniciative.

Se proyecta que las emisiones antropogénicas mundiales de metano aumenten un 15 por ciento a 7,904 MMTCO2E para 2020.

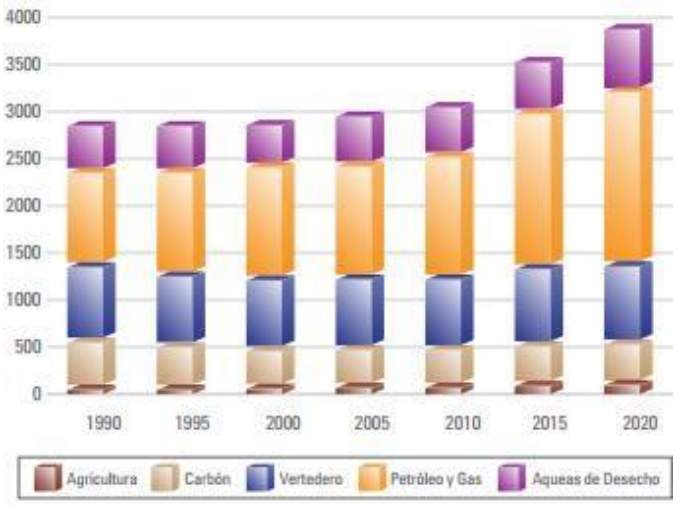


Figura 3. Emisiones antropogénicas mundiales de metano por sector; Fuente: GHC, 2010.

Del 2010 al 2020, se proyecta que las contribuciones relativas de los sectores de agricultura, minería de carbón y vertederos se mantengan relativamente constantes, cambiando en un 2 por ciento o menos de las emisiones antropogénicas mundiales de metano o aproximadamente entre el 7 y el 10 por ciento dentro de cada sector.

Se estima que las emisiones de metano provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas de desecho aumentarán en casi un 12 por ciento. Sin embargo, se espera que las emisiones de petróleo y gas aumentarán casi un 35 por ciento de 2005 a 2020, y serán responsable de un 3 por ciento más de las emisiones antropogénicas mundiales proyectadas de metano cada año.

2.2.3. Formas de producción del gas metano

Según Casiupa (2016) los orígenes principales de metano son:

- Descomposición de los residuos orgánicos por bacterias. **28**%.
- Fuentes naturales (pantanos): **23**%.
- Extracción de combustibles fósiles: **20%** (el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales. **17**%. (Especialmente del ganado).
- Las bacterias en plantaciones de arroz: **12**%.
- Digestión anaeróbica de la biomasa.
- Materia viva vegetal: (Se ha descubierto que plantas y árboles emiten grandes cantidades de gas metano).

El 60% de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico. Proceden principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. La concentración de este gas en la atmósfera se ha incrementado de 0,8 a 1,7 ppm, pero se teme que lo haga mucho más a medida que se libere, al aumentar la temperatura de los océanos, el que se encuentra almacenado en el fondo del Ártico.

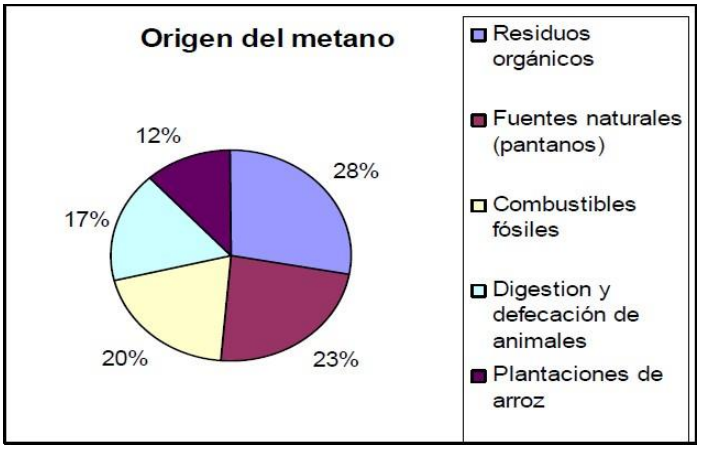


Figura 4. Origen del metano; Fuente. (Casiupa, 2016).

T*abla 2.*

Característica del metano.

Temperatura (°C)		Temperatura (°K)	Presión (Bar)	Densidad (Kg/l)
Punto crítico	-82, 59	190, 56	45, 98	0, 162
Punto de ebullición a 1,013 bar	- 161, 52	11, 63	-	0, 4226
Punto triple	- 182, 47	90, 68	0, 117	-

Fuente: (Pérez, 2010)

El gas más conocido que posee metano es el biogás, existen muchas variantes de gas natural dependiendo de su lugar de origen y se diferencia en su composición química, en su razón de elementos químicos y por ende en sus propiedades.

2.4. Estudio de los efluentes de plantas extractora en Colombia

Los efluentes resultantes de las plantas extractoras de aceite de palma, se caracterizan por su alto contenido de carga orgánica en DBO y DQO, altas temperaturas y bajo pH; la presencia de aceite en el efluente se convierte en un problema costoso para su remoción, la mayor parte de este aceite se recupera en los tanques Florentinos (trampa de grasas). Actualmente la ley colombiana exige la remoción de un 80% de contaminantes como mínimo antes de ser vertido al cuerpo de agua**.** (Avendaño, C & martinez,G. 2015).

Tabla 3.

Rendimientos del procesamiento del fruto de la palma de Aceite en Colombia.

Producto	Kg por tonelada de Racimo	Percentage (%)
Aceite Crudo	207,7	15,37
Fibra	151,1	11,18
Racimo Vacio	231,5	17,13
Cascara	85,0	6,29
Nuez (almendra)	42,2	3,14
Efluentes líquidos	614,1	45,46
Aceite perdido	19,3	1,43

Fuente. Sistema de Información Ambiental UIS en (Avendaño, C & matinez, G. 2015)**.**

Tabla 4.

Caracterización de efluentes de plantas extractora en Colombia.

Parámetro	Unidades	Intervalo	Promedio
pH	-	3, 87	4, 55
Temperatura	°C	53 – 77	67,4
DBO5	mg/ l	18,700 – 175,521	48, 873
DQO	mg / l	45,256 – 232,000	79, 730
Solidos totales (ST)	mg/ l	32,482 – 111,029	45, 670
Solidos suspendidos (S. SED)	ml/ h	19,129 – 88,258	35, 105
Solidos sedimentables	mg/ l	125 – 1, 000	677

(S. SED)			
Sólidos totales Volátiles (STV)	mg/l	26,530 – 98,445	48,988
Fosforo Total (P- total)	mg/ l	15,7 – 1	66,1
Nitrógeno Total (N- total)	mg/l	67,5 – 695	284,1
Grasas y aceites	mg/l	6,489 – 80, 701	18, 747
Acidez total	mg/l	750 – 2,548	1, 611

Fuente. (Duarte, C., 2016).

Los efluentes de la industria palmera se caracterizan por altos valores en DQO Y DBO, altas temperaturas y bajo pH, la presencia de aceite en el efluente no solo es un problema ambiental grave por su baja biodegradabilidad, sino también operacional y económico por que implica perdida del producto.

2.5. Palma Aceitera en el Perú

La palma aceitera es un cultivo en expansión, tanto en el mundo como en el Perú. El año 2001 se publicó el plan nacional de palma aceitera 2000-2010 y se presentó la situación del cultivo a julio del 2000 como línea de base. El total acumulado de hectáreas sembradas al año 2000 era 14,667. De acuerdo con estimados de la oficina de estudios económicos y estadísticos del Ministerio de Agricultura - MINAG, para el 2008 ya existían 35,379 hectáreas de palma, y este número alcanzó las 44,396 hectáreas para el 2010 y actualmente se estima que existen 50,000 hectáreas de palma en el Perú. (MINAGRI, s.f).

Tabla 5.

Evolución de cultivo de palma entre los años 2008 al 2012.

Departamento	2008	2009	2010	2011	2012
Huánuco	732	1000	1000	1000	1000
Loreto	1610	5900	7844	11 613	13 354
San Martin	25 051	25 611	28 657	28 657	28657
Ucayali	13 102	13 741	12 699	13 741	14 741
TOTAL	40 095	46 252	50 200	55 011	57752

Fuente. (MINAGRI, s.f.)

2.5.1. Palma Aceitera en Ucayali

- **Monitoreo del estudio del proceso en la planta extractora de OLPASA**

  Se realizó un monitoreo de residuos durante tres días de proceso en la planta OLPASA, tomando en cuenta un turno de ocho (8) horas. Obteniendo resultados en toneladas por hora como se muestra a continuación:

Tabla 6.

Monitoreo de los residuos de la planta extractora OLPASA.

Proceso	Residuo	Cantidad / 8h	Cantidad / 1h	Unidad
Desfrutado	Escobajo	13 648	1, 706	TN
Palmistería	Cascarila + Nuez	0, 814	0, 102	TN
Palmistería	Nuez grande	0, 273	0, 034	TN
Desfibra	Fibra	7, 381	0, 923	TN

do Palmisteria	Cascarilla	1, 621	0, 203	TN
Florentino	Efluente	68, 632	8, 579	m^3

Fuente. (Esparza, s.f).

- **Monitoreo del estudio de las aguas residuales en la planta extractora de OLPASA**

Tabla 7.

Monitoreo de las aguas residuales en la planta extractora OLPASA.

Parámetros	Aguas Residuales		Eca para agua D.S 2008-MINAM	LMP para agua D.S. 010-2008-PRODUCE	Norma oficial Mexicana-068-ECOL-1994
	Entrada (Salida del florentino)	Salida (Descarga Final).			
Aceites y grasas (mg/l)	115,3	24,5	ausencia	20	50
Sólidos totales disueltos 180°C (mg/l)	3 050	3 000	500	100	130
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5dias a 20°C) (mg/l)	12 390	5 060	<10	<60	

Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	51 643	19 793	-	-	290

Fuente: (OLPASA, 2013).

- **Procesos industriales del aceite crudo de palma aceitera en la región Ucayali**

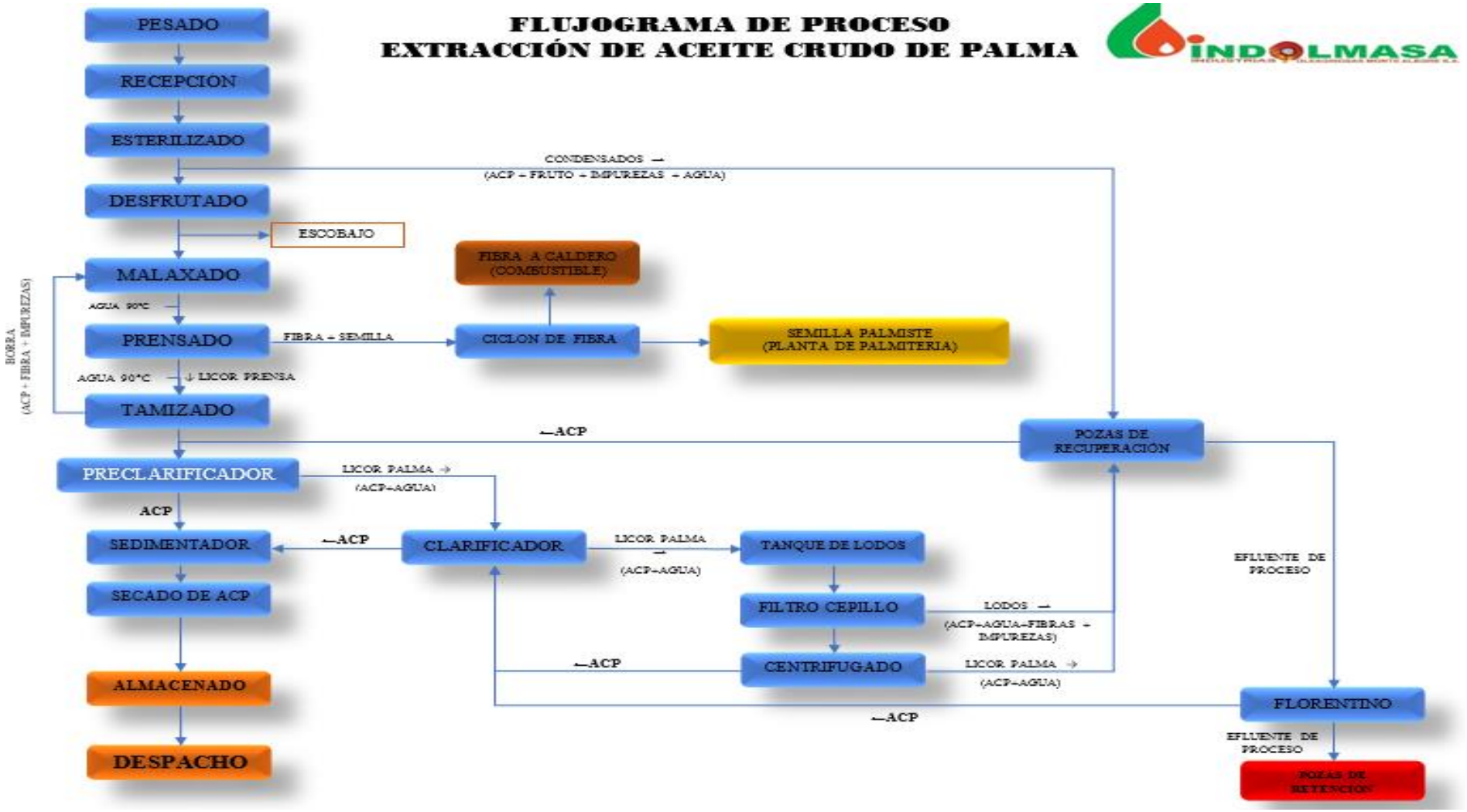


Figura 5. Flujograma de proceso de extracción de aceite crudo de palma; Fuente: INDOLMASA,2018.

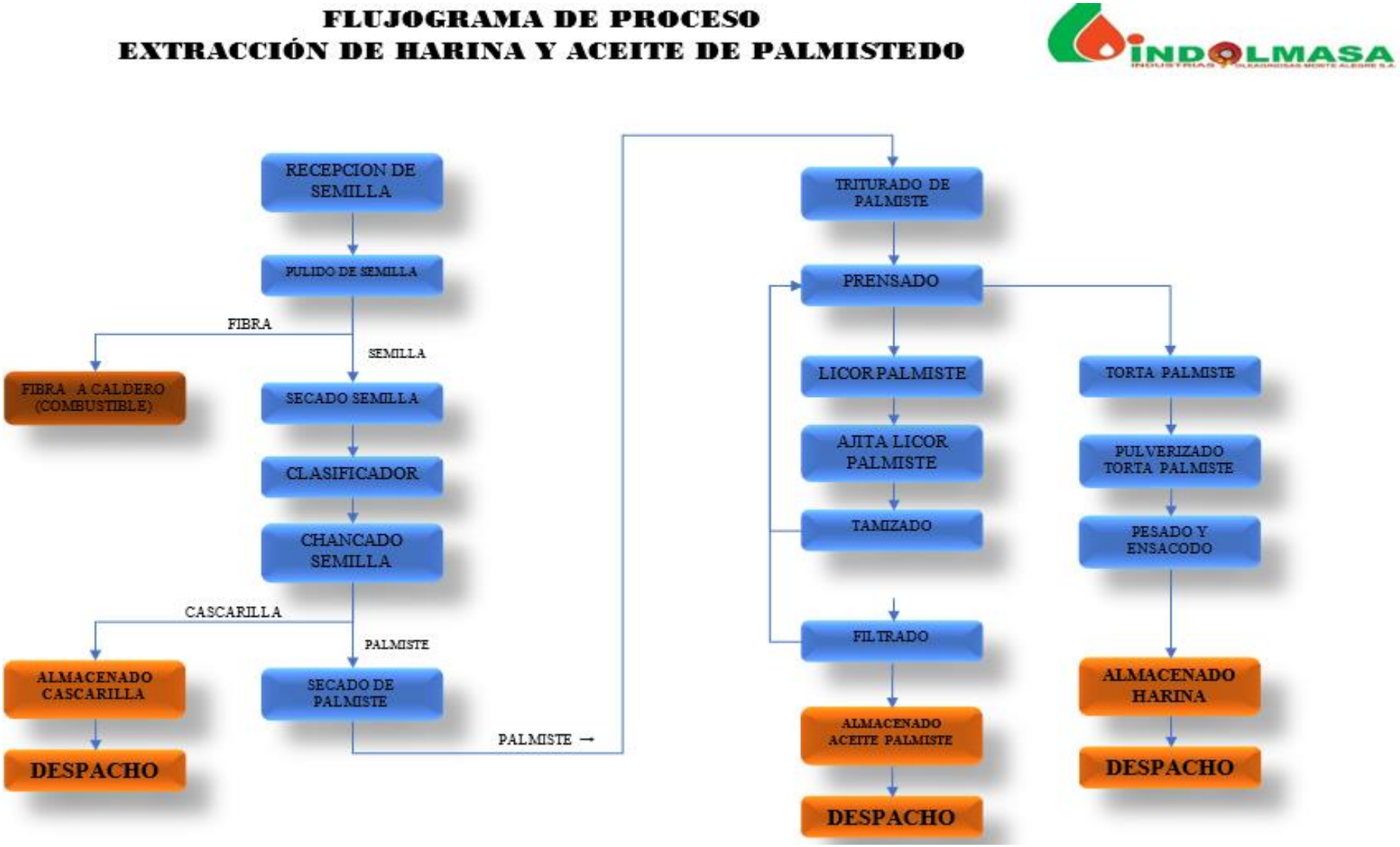


Figura 6. Flujograma de proceso de extracción de harina y aceite de palmistedo; Fuente: INDOLMASA, 2018.

2.6. Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones. En la fermentación, el sustrato es parcialmente oxidado y por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva (Varnero, 2011).

Tabla 8.

Cronología del desarrollo del biodigestor anaeróbico.

Año	Investigador/ País	Aportación
1881	Mouras	Aplico el biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales, lo denomino “Automatic Scavenger”
1895	Cameron	Construyó un tanque similar al de Mouras pero con mejor eficiencia de tratamiento. Una parte del biogás se utilizaba para calor e iluminación.
1895-1969	Varios	Se desarrolló de tecnología para la estabilización de los lodos de las aguas residuales domésticas, como calentadores y mezcladores. Diseño de biodigestores para utilizar estiércol.
1944-1945	Alemania del Oeste	Surge la idea de utilizar desechos agrícolas como materia prima, así como desarrollar diferentes tipos de biodigestores
1950’s	Francia	Instala más de 1,000 biodigestores anaerobios, desde tanques cubiertos hasta sistemas complejos.

1960’s	Canadá, EUA y Europa del Oeste	La principal materia prima para el biodigestor es el estiércol de animales.
1967	¿?	Se introduce el concepto de Filtro Anaeróbico
1970’s	Varios	Se aplica sistemas de biodigestión en tratamiento de aguas industriales, propiciado por el incremento del precio del petróleo

Fuente: Adaptada de (Abbasi, T. & Colaboradores, 2012).

2.7. Biogás

Es el resultado de la fermentación anaeróbica de la materia orgánica. Está compuesta de los siguientes gases: Metano, Dióxido de carbono en mayor concentración y Sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno en proporciones mínimas. (Varnero, M., 2011).

Tabla 9.

Composición química del biogás.

Composición	Nombre Químico	Volumen
Metano	CH4	55-65%
Dióxido de Carbono	CO2	34-45%
Nitrógeno	N2	0,30%
Hidrógeno	H2	0,10%
Sulfuro de Hidrógeno	H2S	0,10%

Fuente: (Morales, V. & Rè, L., 2011).

2.7.1. Propiedades físicas y físico- químico del biogás

La tabla 10 describe las propiedades físicas y la tabla 11 las propiedades fisicoquímicas del biogás.

Tabla 10.

Propiedades físicas y química del biogás.

Propiedad	Valor
Temperatura de Ignición (°C)	650
Temperatura de la Flama (°C)	870

Fuente: (Hossain M. , 2008).

Tabla 11.

Propiedades fisicoquímicos del biogás.

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	Kg /m^3	1, 09
Solubilidad en Agua	-	Baja
Presión Crítica	Psi	673, 1
Temperatura Crítica	°C	82,5
Poder calorífico	Kcal /m^3	De 4 500 a 6 500

Fuente. (Duarte, C., 2016).

Tabla 12.

Propiedades de una composición estándar de biogás.

Propiedad	Valores
Composición	55 – 70% metano, 30 – 45% Dioxido de carbón, Trazas de otros elementos
Energía contenida	6,0 – 6, 5 Kwh/m^3
Equivalente en combustible	0,6 – 0,65 L petróleo/biogas
Límite de explosion	6 – 12% biogas en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (según metano contenido indicado)
Presión crítica	7589 bares
Temperatura crítica	-82, 5° C
Densidad Normal	1, 2 kg/m^3
Olor	Huevos en mal estado
Masa molar	16, 043 Kg/kmol

Fuente. (Pérez, 2010).

2.7.2. Calidad de Biogás

Según (Gutierrez & et al, 2012) se denominada calidad de biogás, aquel volumen de biogás que contiene en su composición de gases un 50% a 80% de gas metano, Dióxido de Carbono entre 20 a 50%, ácido sulfhídrico < 4000 ppm, otros gases (H_2, H_2O, NH_3) entre 1 – 5% y el poder calorífico de 5000 m^3.

Tabla 13.

Carga del reactor y su producción de biogás.

	Kg/ día	Producción
Mezcla de Materia prima	1,0	3,5 biogas/día
Pasto seco	1,6	5,6
Paja de maíz seca	1,2	4,3
Cascarilla de arroz seca	1,6	5,6
Camalote seco	5,3	18,6
Camalote húmedo	106	372
Estiércol de cerdos	13	44
Estiércol de gallinas	16	56
Estiércol de vacunos (25°C)	28	98

Fuente. (Gutiérrez & et al, 2012).

Tabla 14.

Composición y rendimiento de biogás de diferentes materias primas.

Materia prima	Materia seca (%)	Materia orgánica (% de MS)	Rendimiento de Biogás m^3/T (MOS)	Rendimiento de Biogás m^3/T (Humedad)
Cultivos energéticos (c)	-	-	550 a 750	-

Desechos agroindustriales (b)	-	-	400 a 800	-
Estiércol de vaca	7 a 15	65 a 85	200 a 400	9 a 51
Estiércol de Puerco	3 a 13	65 a 85	350 a 550	7 a 61
Fracción orgánica de los RSM's	-	-	400 a 600	-
Gallinaza	10 a 20	70 a 80	350 a 550	24 a 88
Lodos de las aguas residuales	-	-	250 a 350	-
Residuos de cultivo	-	-	300 a 400	-
Redsiduos del procesamiento de la carne	-	-	550 a 1 110	-
Desechos vegetales (a)	10 a 20	65 a 85	400 a 700	25 a 120
Ensilaje de maíz (a)	15 a 40	75 a 95	500 a 900	55 a 340
Ensilaje de pasto (a)	8 a 50	70 a 90	600 a 1300	30 a 585

(a) Puede variar de acuerdo al lugar, tratamiento, proceso y almacenaje.

(b) Como aguas residuales de la industria láctea y de la molienda de los aceites, residuos de la cerveza y de destilerías.

(c) Como maíz, sorgo, etc.

Fuente. Adaptada (Deutsche Gesellschaft Sonnenenergie ECOFYS, 2005 & Massi, 2012).

2.7.3. Etapas de la digestión anaeróbica:

- **Hidrólisis:**

  En esta etapa (hidrolítica) un amplio grupo de microorganismos indisolubles hidrolíticos como la celulosa, proteínas y grasas son fragmentadas en monómeros por enzimas (hidrolasa), estas enzimas provienen exclusivamente de bacterias de metabolismo anaeróbico y actúan sobre los polímeros orgánicos u otros materiales complejos despolimerizándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos. (Varnero, M., 2011)

  Posteriormente estos compuestos experimentan un proceso de fermentación que origina diferentes ácidos orgánicos. Esta etapa resulta indispensable para lograr la ruptura de los biopolímeros complejos en polímeros solubles o monómeros, puesto que los microorganismos que realizan la depuración solamente son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta. (Varnero, M., 2011).

  La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. Incluso en casos donde las fases acidogénicas o metanogénicas son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso (Vic, U., 2009).

  El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa hidrolítica, del tipo de materia orgánica particulada y del tamaño de partícula (Vic, U., 2009).

  La hidrólisis de los carbohidratos toma lugar en algunas horas, para las proteínas el proceso toma algunos días y en el caso de la ligno celulosa el proceso es muy lento e incompleto. (Varnero, M. 2011)

  La sostenibilidad de esta etapa se basa en que la presencia de microorganismos anaeróbicos consume el oxígeno disuelto en el agua y por ende bajan el potencial redox8, lo que es la base para la proliferación de más microorganismos anaeróbicos. (Varnero, M. 2011)

La concentración intermedia de iones de hidrógeno afecta los productos de la fermentación, un ejemplo de degradación acidogénica (del Pirubato). (Varnero, M. 2011)

- **Acidogénesis:**

  Los compuestos solubles resultados de la primera etapa, son transformados por acción bacterial en ácidos orgánicos simples volátiles, acetatos, amoniacos, hidrógeno y bióxido de carbono. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaeróbicas o facultativas (García, K., 2009).

- **Acetanogénesis:**

  Los productos de la fase acido génica sirven de substrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endorgénicas (se necesita energía para la degradación de los productos de la acido génesis), (Martínez, R., Chávez, E. & López, I., 2008).

  Las bacterias de esta etapa producen necesariamente H_2 y están en simbiosis constante con los organismos que producen metano. Los organismos metagénicos pueden sobrevivir solo a altos niveles de presión parcial de hidrógeno, si este nivel baja, el H_2, CO_2 y acetato son producidos por bacterias acetogenicas en el caso contrario predomina la formación de ácido propionico, butírico, valérico y etanol (entre otros).

- **Metanogénesis:**

  Finalmente, mediante la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrogeno y parte de los acetatos, son transformados en metano y bióxido de carbono. El amoniaco se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo en esta forma todo el contenido original de nitrógeno de la materia orgánica, que está sometido al proceso de biodegradación anaeróbica. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales(García, K., 2009).

  Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar un número limitado de sustratos para la formación de metano, éstos son H_2, CO_2, acetato, metanol, metilamina, y monóxido de carbono.

Tabla 15.

Condiciones óptimas para el crecimiento de metanogénicas.

Condición	Valores
pH	6,8 a 7,5
Temperatura (°C)	25 a 30
Potencial Redox (mV)	< -350

Fuente: (Wang, A. & Coautores, 2011).

2.7.4. Parámetros del proceso anaerobio

Se consideran parámetros: la temperatura del biodigestor, pH, el potencial de óxido-reducción (Wangg, A. & Coautores, 2011).

- **Potencial de hidrogenoides (pH).**

  Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6,0. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6,5 y 7,5 (Vargas, P., 2006).

  El intervalo de pH óptimo para el crecimiento de los metanógenos es de 6,8 a 7,5, el cual tiene influencia en la actividad enzimática (Chattopadhyay, S. & coautores, 2009).

  En la biodigestión se generan dos productos: biogás y biol. El biogás es un combustible gaseoso usado como sustituto de la leña o gas de garrafa para cocinar. El biol es el producto líquido que queda de la digestión anaerobia, y es un reconocido fertilizante que contiene nitrógeno, fósforo, potasio y 85% de materia orgánica con un pH de 7,5 (Herrero, J., 2008).

- **Temperatura y tiempo de retención**

  En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas que tienen su mayor rendimiento a 70ºC de temperatura, pero para ello habría que calentar el lodo interior del biodigestor. Hay otras poblaciones que tienen su rango óptimo de trabajo de 30 a 35 ºC. Estas

temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo.

En biodigestores sin sistema de calefacción se depende de la temperatura ambiente que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimas. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta, a temperaturas inferiores a 5ºC se puede decir que las bacterias quedan 'dormidas' y ya no producen biogás.

Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás (Herrero, J., 2008).

Tabla 16.
Tiempo de retención.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente. (Herrero, J., 2008).

- **Relación Carbono – Nitrógeno (C/N).**

Para el caso del sustrato se debe tener en cuenta la disponibilidad. La C/N que se recomienda es de 25 a 30:1, aunque ha habido una gran contradicción por los diferentes sustratos que se pueden utilizar (Chattopadhyay, S. & coautores, 2009).

Tabla 17.

Relaciones Carbono/ Nitrógeno de materias primas de sistemas de biogás.

Substrato	Relación C/ N
Orina	0,8
Excreta de vacuno	10 – 20
Excreta de porcino	9 – 13
Excreta de Gallina	5 – 8
Excreta de caprino / ovino	30
Excreta de humanos	8
Paja de cereales	80 – 140
Gras fresco	12
Desperdicios de verduras	35
Paja de trigo	87:01:00
Paja de arroz	67:01:00
Estiercol fresco de Ganado	25:01:00
Heces humanas frescas	03:01

Fuente: (Silva, J., 2016).

- **Amoniaco:**

Para un correcto funcionamiento del biodigestor, los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/l (Álvarez, J.; Caneta, L. & Moyano, C.; s.f.)

Tabla 18.

Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás.

Parámetro	Rango Optimo
Temperatura (°C)	30 – 35
pH	6,8 – 7,5

Relación C/N	20 – 30
Tiempo de retención (días)	10 – 25
Relación agua/sólidos	6 – 10

Fuente: (Silva, J., 2016).

- **Potencial Redox:**

  Para adecuado crecimiento de los anaeróbios obligados el valor del potencial redox se debe mantener entre -220 mV a -350 mV a pH 7.0 de manera de asegurar el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. Cuando se cultivan metanogénicas, se incorporan agentes reductores fuertes tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado (Varnero, M., 2011).

2.7.5. Microorganismos involucrados en el proceso de conversión bioquímica

Según Varnero, M. (2011): En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium, Ruminococcus, Eubacterium* y *Bacteroide*.

En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas.

En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes. Además, existen diversos microorganismos que pertenecen al sistema ecológico de un biorreactor y que participan indirectamente en la degradación. Por ejemplo, Staphylococcus, especie se desarrolla con frecuencia en los digestores, puede provocar riesgos para la salud humana del personal que opera el digestor si no se toman las medidas sanitarias necesarias.

En las cuatro fases de la degradación, las especies *Acetobacter* y *Eubakterium* tienen una participación similar en el proceso.

Tabla 19.

Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.

Taxonomía	Especies	Descripción	Metabolismo
Género: *Acetobakterium*	*A. woodii* *A. paludosum*	El género Acetobacter comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y $C0_2$, utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
Género: *Eubacterium*	*E. rectale* *E. siraeum* *E. plautii* *E. cylindroides* *E. brachy* *E. desmolan*	El género Eubacterium consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas	La mayoría de las Eubakteria sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos

s *E. callandrei* *E. limosum*	especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto, son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Fuente. (Varnero, M., 2011).

Según Varnero, M. (2011), las bacterias que intervienen en la digestión anaeróbica son:

- **Bacterias que participan de la hidrólisis:** Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: *Bacteroides, Lactobacillus, Propioni- bacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium.*
- **Bacterias que participan de la acidogénesis:** La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género *Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus* están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. El grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición. Sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos. Esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monoméricos.
- **Bacterias que participan de la acetogénesis:** Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h. Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos.
- **Bacterias que participan de la Metanogénesis:** La última fase de la

descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H_2. Este puede detectarse por su autofluorescencia en un microscopio óptico. Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium, Methanospirillum hungatii*, y *Methanosarcina*.

- **Especies metanotróficas:** Las especies metanotróficas (especies que consumen metano) se encuentran presentes en todas partes, pero no son deseables en una planta de producción de biogás. La mayoría de estos son aeróbicos. Estos microorganismos utilizan el oxígeno para degradar el metano y obtener su energía. Los productos metabólicos son el agua y el dióxido de carbono. Los metanotróficos aeróbicos degradan aproximadamente el 17% de todo el metano en la atmósfera. Además de estos, existe otro grupo de metanotróficos, que es capaz de consumir metano, sin necesidad de oxígeno. Estos se encuentran en su mayoría en los sedimentos marinos. Los microorganismos metanotróficos sintetizan sus lípidos a partir del metano.

2.8. Biodigestor

Es un tanque cerrado donde se lleva a cabo la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, como, por ejemplo: desechos agrícolas, agroindustriales y forestales, aguas residuales urbanas e industriales, residuos sólidos urbanos y el estiércol de animales; posteriormente, se produce el biogás. Sus componentes básicos son: área de premezclado, digestor, sistema de captación de biogás y de distribución del efluente (Hossain, M., 2008). También, es considerado como la parte medular en un sistema de producción de biogás.

Un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se coloca el material orgánico, en relaciones de estiércol-agua, y tiempos de retenciones para la degradación anaerobia, generando gas metano y fertilizantes, disminuyendo el potencial contaminante de los excrementos. Puede

ser construido con diversos materiales como ladrillo, cemento, metal, plásticos, etc (ENERGÍA CASERA, 2011).

2.8.1. Clasificación de Biodigestor

Los biodigestores se pueden clasificar de diversas formas, pero la importancia radica en la frecuencia de cargado, ya que esta determina la cantidad de sustrato o biomasa que entrará en el proceso de digestión anaerobia. (Laboratorio., 2011).

Según Merced, J. (2012) en los procesos continuos existe un biodigestor y un tanque de post-digestión (TPD) para los lodos. Cuando se le adiciona sustrato al biodigestor, saldrá la misma cantidad de lodo en el TPD, por lo que el nivel en el biodigestor se mantiene constante. Los lodos que entran en el TPD pueden contener algo de sustrato, por lo que el proceso de digestión continuará en él. Por lo regular, el TPD se encuentra sellado para captar el poco biogás que se pueda producir en él. Este proceso es adecuado para los granjeros.

Los procesos discontinuos tienen un biodigestor, el cual se llena con estiércol y co- sustratos, se sella y se inicia el proceso de digestión. La producción de biogás se va incrementando con el tiempo hasta que alcanza un punto máximo. Es entonces, cuando se abre el biodigestor, se vacía para volverle a ingresar materia prima y se repite la operación.

Los procesos semi-continuos combinan las ventajas del proceso discontinuo y continuo. Permite utilizar el biodigestor para almacenamiento y digestión de la materia prima. La materia orgánica es continuamente adicionada para llenar gradualmente el biodigestor. El estiércol digerido será almacenado en el biodigestor por el tiempo que sea necesario. Una vez que el biodigestor está lleno, cambiará de modalidad de operación de discontinuo a continuo. En esta etapa, si se le añade más sustrato al biodigestor, el lodo se irá hacia el tanque de almacenamiento de lodos; por lo regular estos tanques son más grandes que el TPD. La mayor desventaja de este proceso es que los lodos no se digieren completamente, por lo tanto, el rendimiento de biogás es bajo comparado con los otros dos procesos.

El proceso continuo es el que se utiliza normalmente a nivel mundial, dada las ventajas que tiene de operarlo.

2.8.2. Tipos de Biodigestores:

Según López (s.f) principalmente se conocen en nuestros medios tres tipos de biodigestores: De cúpula fija, de cúpula móvil y biodigestor tipo salchicha. Estos biodigestores son de flujo continuo lo que permite la entrada y salida constante de fluido. A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de ellos:

- **Biodigestores discontinuos:**

Son aquellos biodigestores que una vez realizada carga del sustrato, ya no se puede meter o sacar el material hasta que finalice el proceso de biodigestión, es decir hasta cuando ya no se genere más biogás, el cual se vaciará y volverá a cargar nuevamente con el sustrato para iniciar con el proceso.
Este tipo de digestores anaerobios permiten mayor carga de materiales poco diluidos, por lo que no usa mayor cantidad de agua que los sistemas continuos. Teniendo como ventaja que no afecta significativamente la presencia de material pesado como tierra o arena (Laboratorio., 2011).

- **Biodigestores Semi-continuos:**

Son aquellos en el cual se cargan diariamente una porción pequeña de sustrato en relación al contenido total, en estos biodigestores se mantiene el volumen constante de sustrato en el interior.

Una limitante importante es la disponibilidad para el contenido de agua, debido a que el sustrato que ingresará al proceso de biodigestión debe componerse de una relación 1:4, es decir una parte del material orgánico y cuatro partes de agua (Pontón, D., 2010).

- **Biodigestores de mezcla completa:**

Es conocido también como biodigestores continuos, se compone una con una entrada continua del sustrato y una salida continua del producto, este tipo de biodigestores no se completa al 100% el proceso, por lo que no garantizar la eliminación total de agentes causantes patógenos, por lo que es necesaria la recirculación del efluente (Limpiar el mundo, 2011).

- **Modelo Chino**

Originario de la China, es una estructura cerrada que posee una cámara de carga y una cámara de descarga, puede ser construida de cemento, concreto o ladrillo. Tienen larga durabilidad, y es bien resistente al ambiente. Unas de las desventajas de estos biodigestores, es el alto costo de construcción.

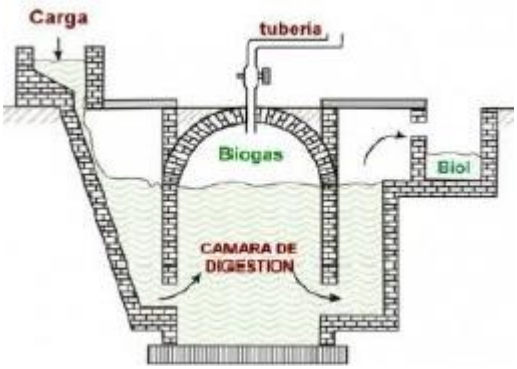


Figura 7. Biodigestor Chino; Fuente: Pontón, 2010.

La parte superior es hemisférica al igual que el fondo, la parte interior está sellada con cemento para hacerlo firme, el digestor almacena solo un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que se necesita de un sistema de almacenamiento de gas exterior (Limpiar el mundo, 2011).

- **Modelo Hindú**

Originario de la India, es llamado también biodigestor de domo flotante o de campana, el cual se caracteriza por flotar en encima del sustrato debido al contenido de biogás en su interior. Esta campana tiene la habilidad de subir y bajar dependiendo a la cantidad de biogás que se genera en el interior de la estructura, la campana o el domo puede ser de un material resistente a la corrosión y requiere de una guía central o rieles laterales que eviten el contacto con las paredes interiores.

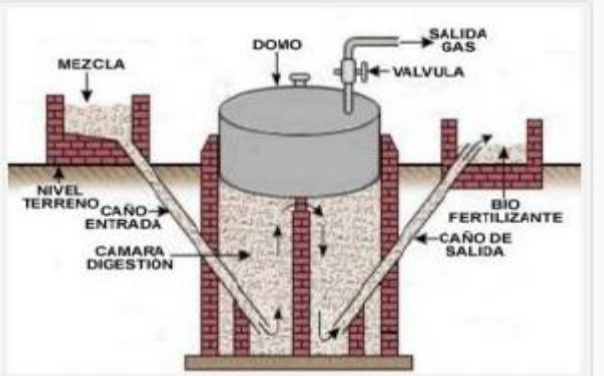


Figura 8. Biodigestor Hindú; Fuente: (Pontón, D., 2010.)

Este tipo de biodigestores no necesita un recipiente externo para almacenar el gas generado, además mantiene a una presión relativamente constante al interior de la campana lo que es muy ventajoso. (Pontón, D., 2010).

- **Modelo Horizontal**

Se caracterizan por tener la cámara de digestión alargada, donde el material orgánico recorre a lo largo del biodigestor produciéndose la degradación anaerobia, en cuyos extremos se sitúan la cámara de carga y la cámara de descarga del sistema.

El modelo horizontal antes descrito, ayuda a que la carga inicial no se mezcle con el efluente, haciéndolo útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado.



Figura 9. Biodigestor Horizontal; Fuente: Biodigestores Económicos, 2011.

Estos modelos horizontales son conocidos como biodigestores familiares de

bajo costo, donde las familias campesinas que no tienen suficientes recursos optan por la construcción este modelo, son fáciles de implementar utilizando plásticos tubulares de polietileno (Biodigestores Económicos, 2011).

2.8.3. Construcción de Biodigestor:

Según (López, s.f.), los biodigestores plásticos de flujo continuo pueden construirse con una bolsa de polietileno tubular calibre 16 o dos bolsas calibre 8 con protección para rayos ultravioleta (UV). En el caso de construirse con dos bolsas calibre 8 el plástico se usa doble para darle mayor resistencia y duración. Esta bolsa es instalada en una fosa cuyas dimensiones dependen del diámetro del plástico y del tamaño que se quiera dar al biodigestor. En cada extremo de la fosa se construye una caja de ladrillo o cemento con un tubo al que se amarra el plástico.

En Colombia se consigue en el mercado plástico tubular de diferentes diámetros; los más usados son los de 1,25 m para biodigestores pequeños (de 3 a 15 m^3) y de 2,5 m de diámetro para biodigestores de mayor tamaño.

Tabla 20.

Ancho, profundidad y longitud de la fosa.

Capacidad del Biodigestor en m^3		Ancho de la fosa (m)	Profundidad de la fosa (m)	Longitud de la fosa, m
Granjas	3	1,2 / 1,0	1,0	3
Pequeñas	11	1,2 / 1,0	1,0	10
	15	1,2 / 1,0	1,0	14
Granjas	40	2,5 / 2,0	1,5	12
	50	2,5/ 2,0	1,5	15
Grandes	67	2,5 / 2,0	1,5	20
	84	2,5 / 2,0	1,5	25
	100	2,5 / 2,0	1,5	30
	118	2,5 / 2,0	1,5	35

Fuente. (López, s.f.).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

El tipo de investigación que se utilizó es de investigación experimental descriptiva.

Es experimental porque consistió en evaluar la calidad del biogás obtenido a partir del efluente de la planta de extracción de aceite de palma Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. (INDOLMASA), mediante 3 prototipos de biodigestores de flujo continuo de 10 m^3 con tres tratamientos distintos: 100% efluentes (7,5 m^3); 98,67% efluentes (7,4 m^3) y 1,33% rumen de vacaza (100 L); 96%efluentes (7,2 m^3) y 4% rumen de vacaza (300 L), el rumen de vacaza se utilizó como un catalizador para acelerar el proceso y esto nos permitió comparar la obtención de biogás entre los tres tratamientos.

Es descriptiva porque a través de sensores especiales y equipos de monitoreo permitió monitorear los parámetros de % CH_4, % CO_2, Temperatura interna de los biodigestores.

Así mismo a través de un termohigrómetro se mide la temperatura del ambiente y humedad relativa; y mediante métodos matemáticos el poder calorífico y el potencial energético que nos permite establecer la generación de energía eléctrica en INDOLMASA.

Poder calorífico

Para el cálculo del poder calorífico teórico, se optó por el método de acuerdo a Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M. & Botero, R. (2007), el poder calorífico del biogás, obtenido de la digestión anaerobia de los efluentes de planta extractora de palma de aceite, se presenta de acuerdo a la siguiente reacción:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 212 \text{ kcal/mol}$$

1 mol = 22,4 L, 1 m^3 = 1000 L

Donde 1m^3 es igual a 44,64 mol

$$PC = (212kcal/mol)(44{,}64mol/m^3) = 9464\ kcal/m^3$$

Y se evaluó el poder calorífico para cada biogás obtenido de los tres tratamientos con diferentes concentraciones de metano, de la siguiente manera:

$$PCI = PC(\%CH_4) = (kcal)$$

Potencial energético

Para el potencial energético se utilizó un factor de conversión, cuya relación es:

1kcal = 0,001136 kWh

$$Ee = PCI * Fc \ = \ (kWh)$$

3.2. Ubicación, población y muestra.

3.2.1. Ubicación

El presente estudio se realizó en la planta extractora de aceite de palma Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. (INDOLMASA), ubicada en el Distrito de Neshuya en el Km 61 de la Carretera Federico Basadre con coordenadas UTM: 502813 ESTE y 9043943.5 NORTE.

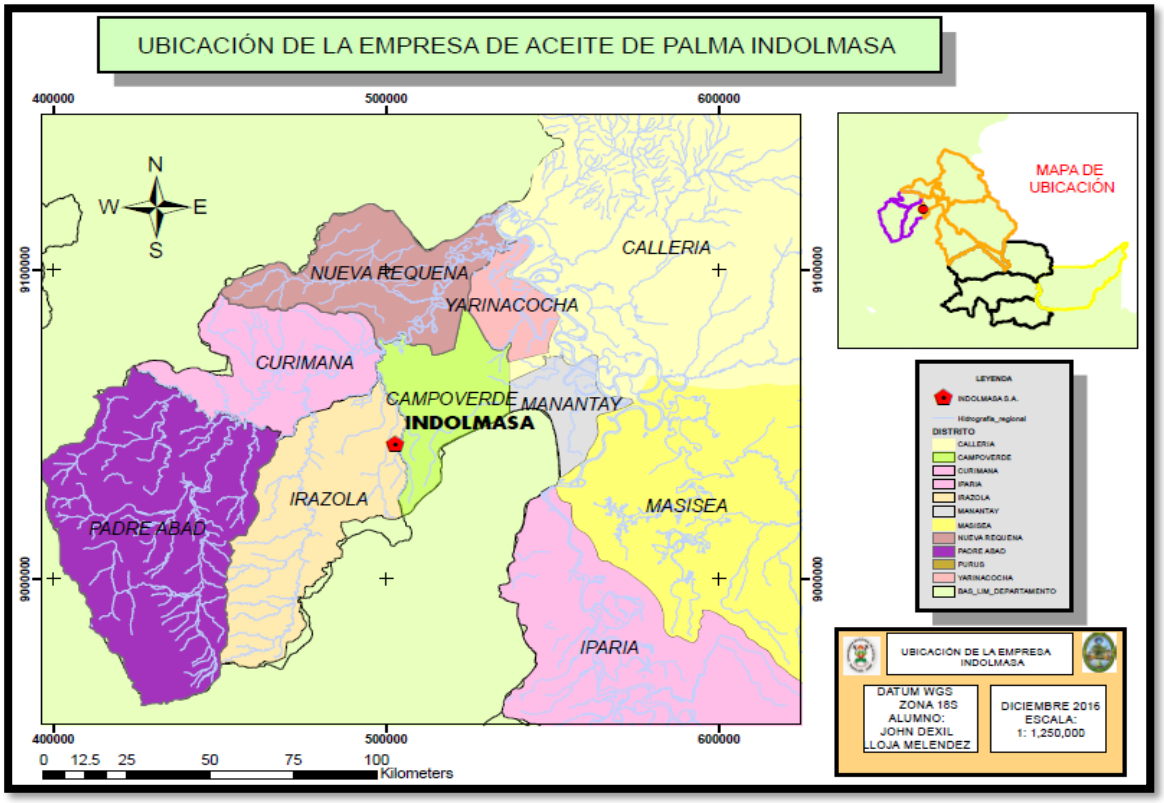


Figura 10. Mapa de ubicación del área de estudio, "INDOLMASA".

3.2.2. Población

Para el estudio se consideró la cantidad de efluentes que produce la empresa INDOLMASA diario, es 40m^3 (Jornada de trabajo de 8 horas).



Figura 11. Laguna de efluente de la empresa INDOLMASA.

3.2.3. Muestra

La muestra es la cantidad de efluentes que fue objeto de estudio, es 22,1 m^3. La muestra está compuesta por los volúmenes de efluente utilizados en los tres biodigestores, 7,5m^3 en primer biodigestor, 7,4 m^3 en el segundo biodigestores y 7,2 m^3 en el tercer biodigestor, obtenido un total de 22,1 m^3 de efluentes utilizados como muestra durante el estudio. Este muestreo se realizó en las fechas de 01 de noviembre hasta el 30 de noviembre de 2017.

3.3. Diseño de la investigación

Se utilizó un Diseño completamente al azar (DCA) la cual tuvo 3 tratamientos independizado en 3 prototipos (biodigestores tubulares), se realizó 1 repetición en época del mes de noviembre.

	TRATAMIENTOS		
DIAS	**T1**	**T2**	**T3**
D0	**T1D0**	**T2D0**	**T3D0**
D1	**T1D1**	**T2D1**	**T3D1**
D2	**T1D2**	**T2D2**	**T3D2**

D3 **….**	**T1D3** **…..**	**T2D3** **……..**	**T3D3** **……..**
D30	**T1D30**	**T2D30**	**T3D30**

3.4. Hipótesis

3.4.1. Hipótesis Nula (Ho)

La calidad de biogás es baja al utilizar tratamientos de efluentes de planta extractora de aceite y rumen de vacaza.

3.4.2. Hipótesis Alternativa (Ha)

La calidad de biogás es alta al utilizar tratamientos de efluentes de planta extractora de aceite y rumen de vacaza.

3.5. Componentes de estudiados

3.5.1. Variables Independientes

Tratamiento con Sustratos: efluente de planta extractora de aceite de palma (m^3) y rumen de vacaza (m^3).

3.5.2. Variables dependientes

Calidad del biogás: $\%CH_4$, $\%CO_2$, Poder calorífico (Kcal/m^3), Potencial energético de biogás (kwh).

3.6. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA de un solo factor y fueron evaluadas mediante la prueba tukey con un $\alpha = 0{,}05$ con un nivel de confianza al 95%.

3.7. Instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Materiales, equipos y herramientas

- **Materiales**
  - Tablero de campo.
  - Libreta de campo.
  - Lápiz.
  - Lapicero.
  - Botas.
  - Camisa Manga larga.
  - Bolsa de plástico.

- Sacos de cal de 20 kg.
- Cilindros.
- Tanque de 2500 litros.
- Tubos de desagüe de 4” y de 2”.
- Codo reductor de 2” y 1”.
- Pegamento para tuberías.
- Clavos.
- Alambre.
- Cámara de jebe.
- Tolda.
- Arcos de fierro.

➢ **Equipos**

- Cámara Digital.
- Sensores de % CH_4, % CO_2, Temperatura interna.
- Peachímetro.
- Termohigrómetro

➢ **Herramientas**

- Machete.
- Serrucho.
- Taladro.
- Excavadora.
- Pala.
- Cinta métrica.
- Martillo.
- Alicate de corte y de agarre.
- Balanza.
- Comba.

3.8. Procedimiento de recolección de datos.

3.8.1. Caracterización de los efluentes del INDOLMASA.

- **Identificación del punto de muestreo**

  Se identificó el punto de muestreo de la poza de retención de la empresa INDOLMASA. La poza de retención es el lugar de depósito de los efluentes, realizadas de forma artesanal, no cuentan con geomembrana y son vertidos una vez que alcanza el límite de su capacidad.

  Por lo que la muestra se obtuvo de la entrada del efluente a la poza de retención.

  Este líquido es el residuo que se genera de la planta extractora, y proviene de la última etapa del proceso, es la recuperación de aceite del tanque florentino.

- **Toma de muestra del efluente**

  La toma de muestra se realizó del efluente en el tanque de retención, antes del ingreso a los biodigestores y al finalizar el tratamiento en estos, pasado el periodo de retención hidráulica de 30 días.

Tabla 21.
Caracterización de los efluentes del proceso de extracción de aceite crudo en INDOLMASA.

Caracterización de los efluentes de proceso de extracción de aceite crudo INDOLMASA			
Parámetros	Resultados	Unidades	Límite Máximo según Banco Mundial
Aceites y Grasas	3699	mg/l	10 mg/l
Sólidos Suspendidos Totales	19400	mg/l	50 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	44517	mg/l	150 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxigeno	25582,5	mg/l	40 mg/l
Coliformes Termotolerantes	< 1,8	NMP/100 ml	
Temperatura	>100	°C	

pH	4,54	…..	6-9
Conductividad	2980	uS/cm	
Demanda Química de Oxígeno después del tratamiento	T1 = 11000 T2 = 2278 T3 = 2444	mg/l mg/l mg/l	150 mg/l 150 mg/l 150 mg/l



Figura 12. Válvula de ingreso de carga a los biodigestores.



Figura 13. Toma de muestra del efluente para su análisis respectivo.



Figura 14. Salida del biol y biosol para la toma de muestra.



Figura 15. Gasómetros de cada biodigestor.

3.8.2. Instalación de biodigestores

Para la instalación de los biodigestores se consideró los siguientes pasos:

- **Diseño de los biodigestores para la adquisición:** Para el diseño de los prototipos de los biodigestores se siguió la metodología descrita por Martí (2008) en su publicación de guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares.

  Se calculó los requerimientos acerca del biodigestor, en base a esto se diseñó tres prototipos de biodigestores tubulares de 8 metros de largo y 1,27 metros de diámetro. Con un volumen de 10 m^3.

$$V_t(m^3) = S(m^2).L(m) = \pi.\frac{D^2(m)}{4}.L(m)$$

  Donde, S es la sección eficaz, L= longitud del trabajador y π una constante que toma un valor de 3,14.

$$V_t(m^3) = \pi.\frac{(1{,}27)^2(m)}{4}.8(m) = 10m^3$$

  La longitud del biodigestor se obtiene al dividir el volumen total de los biodigestores entre sección eficaz ($\pi \times r^2$)

$$L = \frac{V_t}{S} = \frac{10}{1{,}266768}$$

$$L = 7{,}894$$

  Como existen ciertos márgenes de error para el amarre y aseguramiento en la entrada y salida de la carga se considera se considera una longitud redondea a 8 metros.

  Teniendo estos datos como la sección eficaz y la longitud se conoce el volumen del biodigestor. Para la relación longitud y diámetro se realiza una división entre estas variables, dicho resultado sirve para verificar si las dimensiones son óptimas para el biodigestor. Segú Martí (2008), indica que la relación debe de estar entre 5 a 10 y nos recomienda una relación óptima de 7 o la que más se acerque a este valor.

$$Relación\ Longitud\ y\ diámtero = \frac{L}{D} = \frac{8}{1{,}27} = 6{,}299 = 6{,}3$$

Teniendo en cuenta estos parámetros, se procedió a la compra de los biodigestores tipo tubular con la capacidad calculada de 10 m^3 de volumen.

- **Ubicación y dimensión del terreno para la instalación de los biodigestores**:

  La selección del lugar de instalación de los biodigestores se realizó por inspección ocular, tomando como referencia la distancia a la poza de retención de la planta extractora de aceite de palma INDOLMASA y la topografía del terreno.

  Se adecuó la pendiente que mejor se favorece el funcionamiento de los biodigestores, aprovechando las zonas bajas de tal manera que por acción de la gravedad facilite el flujo de los efluentes a los biodigestores.

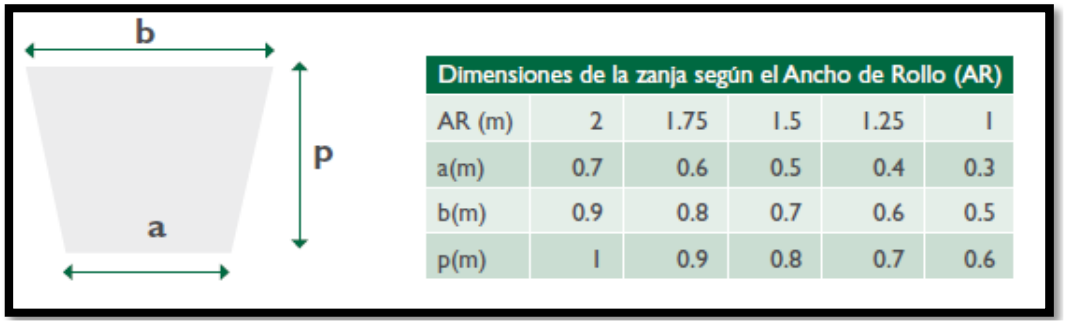
  El lugar de instalación de los biodigestores se encuentra a 10 metros de la poza retención en una zona baja.

- **Limpieza de la cobertura vegetal para la instalación de los biodigestores:**

  El terreno se encontraba en una zona pastosa, sin presencia de especies forestales, ni presencia de fauna, es por ello que se prestó el servicio de un personal para el manejo de una retroexcavadora, para la limpieza de la cobertura vegetal y facilitar realizar las medidas para la instalación de los biodigestores.

  Para dimensionar el terreno en la etapa de instalación de los biodigestores. Primero se analizó las medidas de las zanjas, para ello Martí (2008), indica que el diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular. La longitud de la zanja que da determinada por la longitud del biodigestor, la profundidad y ancho de la misma dependerá del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

  De forma general, se emplea las siguientes dimensiones medidas según ancho de rollo, para el dimensionamiento e instalación.



Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)					
AR (m)	2	1.75	1.5	1.25	1
a(m)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
b(m)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
p(m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Figura 16. Dimensiones de la zanja, según ancho de rollo.

Por los cálculos descritos anteriormente se demuestra que el ancho de rollo de nuestros biodigestores es de 2. Por ende, se sigue las dimensiones descritas por el autor para este ancho.

Las zanjas tienen una forma de trapecio invertido con una profundidad de 0,9 m, la base inferior es de 0,7 m y la base superior de 0,9 m, y una longitud de 8 metros de largo.

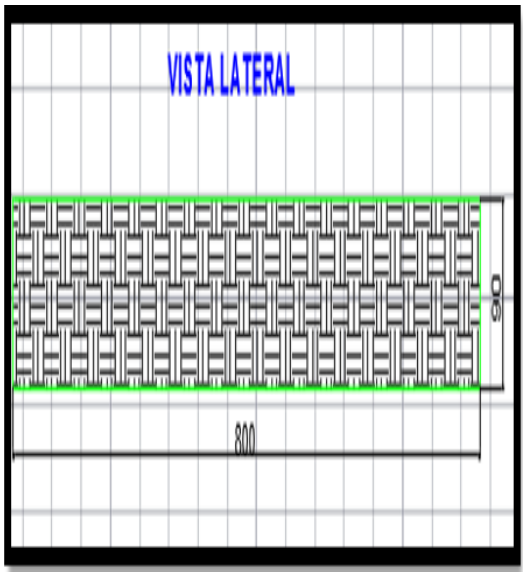


Figura 17. Vista Lateral de los biodigestores (cm).

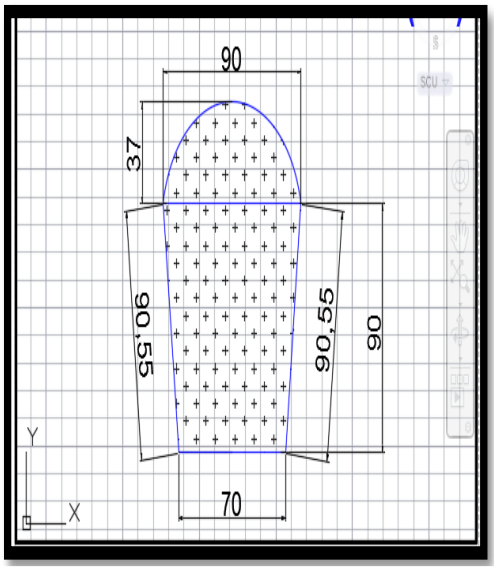


Figura 18. Vista frontal de los biodigestores (cm).

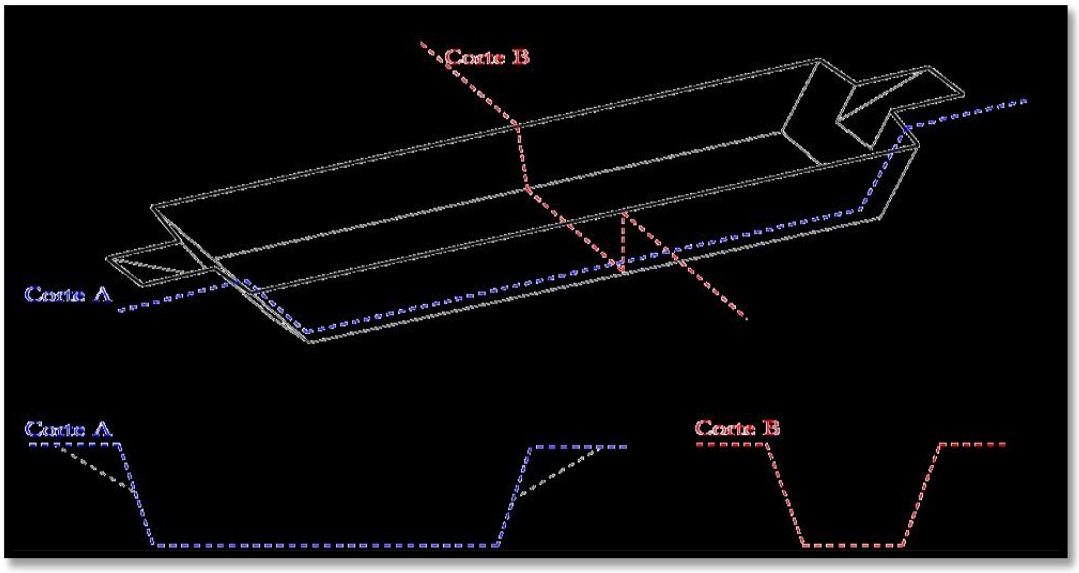


Figura 19. Cortes transversales del dimensionamiento de las zanjas para la instalación.



Figura 20. Acondicionamiento del área de trabajo para la instalación de los biodigestores.

- **Instalación de los Biodigestores:** Para la instalación de los biodigestores se realizó una inspección ocular de las zanjas para evitar presencia de algún material que pueda dañar al biodigestor.

  Los biodigestores fueron instalados en las zanjas elaboradas. Además, dichos biodigestores tendrán una salida de biol y biabono, es por ello que se acondicionó para cada biodigestor un depósito de 1 m^3 a una distancia de 1 m del ducto de salida del biol y biabono.

  Para la instalación de los biodigestores se utilizó un soplete eléctrico, que cumplía la función de añadir aire atmosférico a los biodigestores, esto

permitía la inflación de dichos biodigestores, recordemos que los biodigestores tubulares son enviados en cajas y se encuentran envueltos y desinflados. Esta acción se realiza para facilitar su manipulación y traslado.



Figura 21. Adecuando para la instalación de los biodigestores.

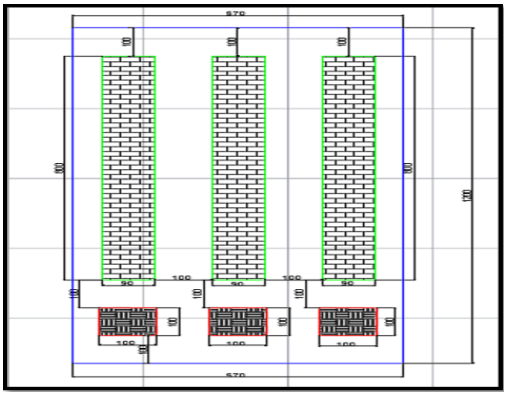


Figura 22. Diseño tipo tubular de los biodigestores.

3.8.3. Tratamiento de los biodigestores

Los biodigestores de $10m^3$ cada uno, tuvieron distintos tratamientos tales como:

- 100% efluentes en el biodigestor 1, la carga correspondiente para dicho proceso que representa el 75% de su volumen, es decir el 7,5 m^3 puro efluentes.
- 98,67% efluentes + 1,33% rumen de vacaza en el biodigestor 2, es decir 7,4m^3 de efluentes y 0,1 m^3 de rumen de vacaza (El rumen de vacaza se utiliza como un catalizador para acelerar el proceso anaeróbico).
- 96% efluentes + 4% rumen de vacaza en el biodigestor 3; es decir 7,2m^3 de efluentes y 0,3m^3 rumen de vacaza. (El rumen de vacaza se utiliza como un catalizador para acelerar el proceso anaeróbico).

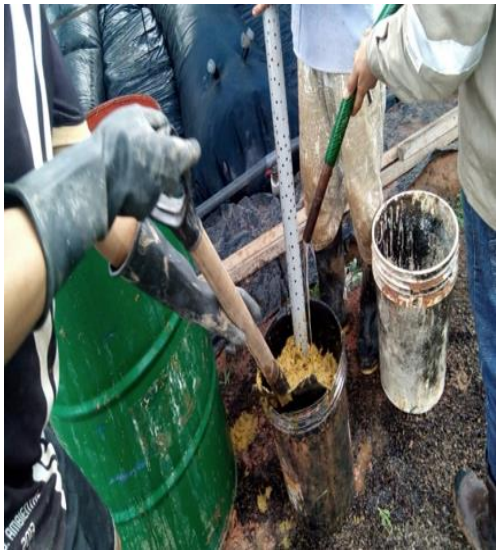


Figura 23. Sustrato de rumen de vacaza apara carga de biodigestores.



Figura 24. Sustrato del efluente de palma aceitera para carga de digestores.

3.8.4. Cargas a los biodigestores

La carga de los biodigestores se realizó de la siguiente manera:

- **Instalación de Sifón:** El sifón se diseñó a través de un sistema de tuberías que se colocaba en la poza de retención de los efluentes y conectaba al tanque de homogenización de los biodigestores.

  Este sifón contiene una válvula check que impide que retorne el efluente a la poza, que, al añadir agua en todo el sistema de tuberías, succiona el efluente y lo traslada al tanque de homogenización.



Figura 25. Instalación del sifón, para la carga del efluente en el tanque.

- **Instalación del tanque de Homogenización:** El tanque de homogenización es de 2500 litros, la cual cumple la función de almacenar los efluentes, y en las cuales se puede regular el pH y la temperatura.

  En la parte interna del tanque de homogenización se demarcó líneas cada 250 litros, esto se utilizó para añadir la carga de 250 litros diarios a cada biodigestor.

  Para regular el pH a rango de “7”, se utilizó carbonato de calcio (Cal), las cuales se pesó en bolsas de plástico cada kg de carbonato de calcio y cada kg fue hidrató con agua en baldes de 20 litros, así mismo se comprobó que para neutralizar 2 m^3 de efluentes se requiere 6 Kg de Cal diluido en 120 litros de agua. Y esto se puede monitorear usando el peachímetro.

  La temperatura debe ser menor a 40°C, para ello se usó el Termohigrómetro para medir su temperatura.



Figura 26. Tanque de almacenamiento y homogeneizador de efluente.

- **Sistema de tuberías para alimentación de los biodigestores:** Se realizó una conexión a través de tubos de desagüe de 2” desde la salida del efluente del tanque de homogenización hasta la entrada de alimentación de los biodigestores.

  Por lo que a través de llaves se controlaba la alimentación en cada biodigestor.



Figura 27. Sistema de tuberías para carga de biodigestores.



Figura 28. Biodigestores para carga diaria de 250 litros.

- **Alimentación a cada biodigestor.**

La alimentación o carga de biodigestor, dependió de su tratamiento y de su volumen.

La primera carga fue de 500 litros en cada biodigestor. Esto se realizó porque los biodigestores 2 y 3 se los añadió 100 litros y 300 litros de rumen de vacaza. Las demás cargas fueron de 250 litros, hasta completar el 75% de su capacidad del biodigestor, las cuales utilizando la fórmula de $\frac{Volumen\ de\ carga\ total}{Volumen\ de\ carga\ diario} = \frac{7{,}5}{0{,}25} = 30$, se obtuvo el tiempo de retención en los biodigestores.



Figura 29. Prototipos de biodigestores con tres tratamientos distintos.

3.8.5. Monitoreo de la concentración % CH_4, % CO_2, temperatura interna en los biodigestores

Para el monitoreo de la concentración % CH_4, % CO_2, temperatura interna, se consideró lo siguientes pasos:

- **Instalación de sensores:** Para la instalación de los biodigestores se acondicionó entradas especiales en la parte intermedia de los biodigestores, que a través de tubo de plástico PVC y añadiéndole orificios en todo el material, se colocó los sensores asentados sobre una base de corcho que permitía la flotación de los sensores y así evitar que las cargas continuas dañen o alteren los sensores.

  La instalación de sensores se llevó a cabo mediante el sistema Arduino, cuya finalidad es almacenar datos de % CH_4, % CO_2, temperatura interna de cada biodigestor, lo cual recepciona la lectura que brinda los sensores.

  Con la ayuda de una programación en base al sistema Arduino y a los sensores permitirá recepcionar la información desde el celular móvil o desde la PC en cualquier parte que nos encontremos siempre y cuando tengamos servicio de internet.



Figura 30. Instalación de señores de CH_4 CO_2.



Figura 31. Acondicionando tubos de plástico para instalar sensores.

- **Promedios de Datos:** Los datos que nos brinda el sistema con los sensores, permitió obtener promedios cada hora del proceso. Esto permitió identificar las condiciones adecuadas para el proceso anaeróbico adecuado y una producción de biogás de calidad.

  Por el cual, para nuestro estudio, se consideró datos promedios diarios durante los 30 días de retención hidráulica, en las fechas de 31 de octubre hasta el 30 de noviembre.



Figura 32. Sensor conectado a internet, el cual nos brinda datos a una plataforma virtual.

3.8.6. Monitoreo de la temperatura ambiente y humedad Relativa.

Para el monitoreo de la temperatura ambiente y humedad relativa, se utilizó el termohigrómetro y se tomó las medidas de la temperatura y humedad del ambiente durante el tiempo de retención hidráulica, para lo cual se registró datos en horarios de 6:00am, 9:00 am, 12pm, 3pm y 6pm. Por lo que se promedió los datos diariamente.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓNES

4.1. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE METANO Y PODER CALORÍFICO.

Tabla 22.
Análisis estadístico ANOVA de la concentración de metano y poder calorífico del biogás.

		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Metano	Entre grupos	,024	2	,012	3792,368	,000
	Dentro de grupos	,000	51	,000		
	Total	,024	53			
PCI	Entre grupos	2150376,526	2	1075188,263	3792,368	,000
	Dentro de grupos	14459,197	51	283,514		
	Total	2164835,722	53			

El nivel de significancia estadística muestra un valor menor que el p_valor establecido 0,05, por lo tanto, se entiende que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos, con respecto al porcentaje del metano y el poder calorífico.

4.1.1. Concentración de metano (CH_4) en función al tratamiento

Tabla 23.
Prueba HSD tukey de los tratamientos en concentración de metano.

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
B2	18	,493111		
B1	18		,501572	
B3	18			,541467
Sig.		1,000	1,000	1,000

Para la siguiente tabla se muestra que ambos tratamientos difieren estadísticamente significativa entre si (letras del super índice diferentes), determinando que el mejor tratamiento con respecto a la concentración de metano es el B3.

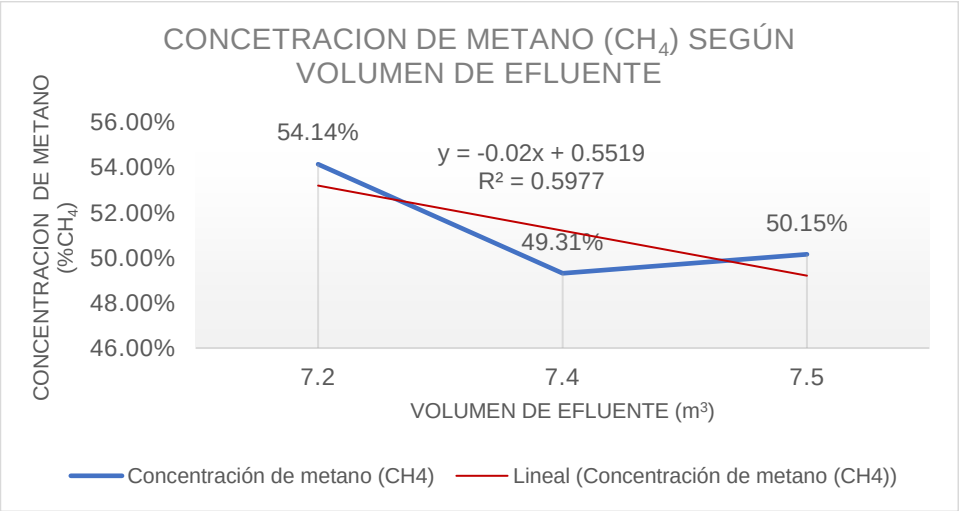


Figura 33. Concentración de metano según volumen de efluentes del proceso de extracción de aceite crudo de palma.

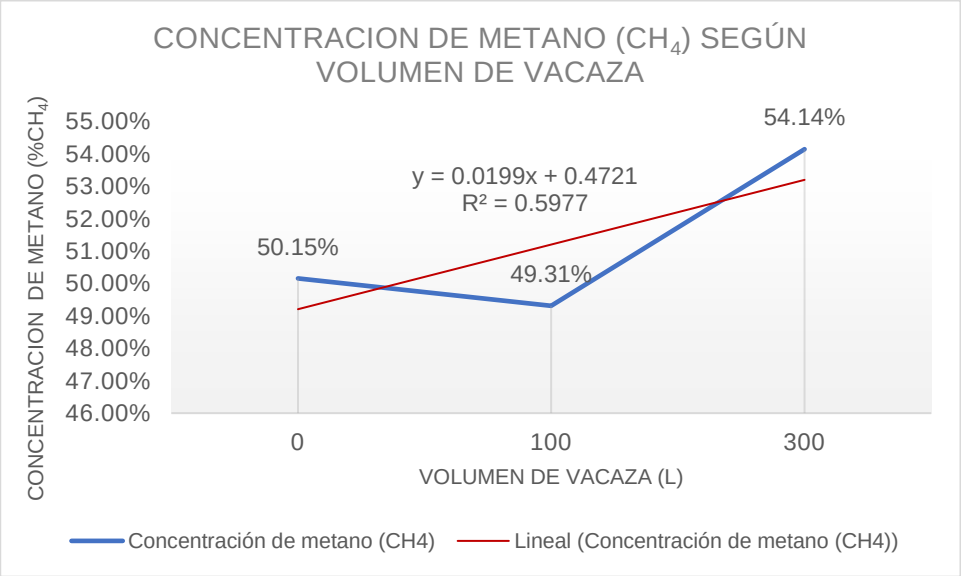


Figura 34. Concentración de metano según volumen de rumen de vacaza utilizado en cada tratamiento.

En las figuras 33 y 34 se puede observar que el biodigestor 3 que contenía 7,2 m^3 de efluentes y 300 litros de rumen de vacaza obtuvo el mejor resultado respecto a la concentración de metano, obteniendo un resultado de 54,14%. Un segundo lugar ocupa el biodigestor 1 que contiene 7,5 m^3 de efluentes, que es la muestra testigo, la cual obtuvo un resultado de 50,15%, y por último que biodigestor 3 que contiene 7,4 m^3 de efluentes y 100 litros de rumen de vacaza obtuvo un resultado de 49,31%.

En base a los resultados obtenidos se demuestra que la proporción de al 4% de inóculos, brindó mejores resultados respecto a la concentración de metano, sin embargo en un estudio realizado por Molina & et al (2016) en la determinación a escala laboratorio de la relación sustrato/inóculo en la biodigestión de residuos orgánicos (de restaurant y cafetería) de la universidad EAFIT, demuestra que en los ensayos realizados, la mayor

concentración de metano se obtuvo en una relación de sustrato/ inóculo al 10%, es decir que por cada 1m^3 de sustrato se debe añadir 100 litros de inoculantes, así mismo un segundo lugar obtiene a una concentración del 5% y sin inóculos se lleva el tercer lugar. Además, indica que la relación sutrato/ inóculo es indispensable para poder garantizar las condiciones del medio necesario para el desarrollo de las bacterias metanogénicas, ya que no de ser así, podría causar mortandad de las presentes como de las añadidas.

Según lo indicado por el autor, es probable que hubo mortandad de cierta población de bacterias metanogénicas o no se permitió un mayor crecimiento poblacional de las bacterias en el biodigestor 2 que contenía inóculos al 1,33%, por lo tanto, no se llegó a esa relación óptima y por ende se obtuvo menor concentración de metano, a comparación del biodigestor 1 que no contenía inóculos, sin embargo, pudo generar mayor concentración de metano que el biodigestor 2.

Es preferible combinar ciertos residuos orgánicos con rumen de vacaza, considerando la relación óptima, para poder obtener mayor concentración de metano, como lo indica Cádenas, J., Quipuzco, L., & Meza, V. (2013), que los residuos orgánicos mezclados con vacaza brindan mejor calidad de biogás biol y biabono; y como también lo afirma Rivas,O., Faith,M. & Guillén, R. (2010), que indican que el rendimiento de un biodigestor está ligado principalmente a la estructura de la comunidad microbiana presente en el mismo. Además, la producción de metano tiene un límite que depende también de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor. Sin embargo, mediante la manipulación de los factores químicos, físicos y biológicos presentados en esta revisión, se puede adaptar, de un modo sencillo, la producción de biogás a la demanda actual de energía. Entre estos factores cabe resaltar los que resultan de bajo costo, como por ejemplo la combinación de sustratos, la adición de grasas, la separación de los sólidos y la inoculación de los biodigestores con microorganismos metanogénicos.

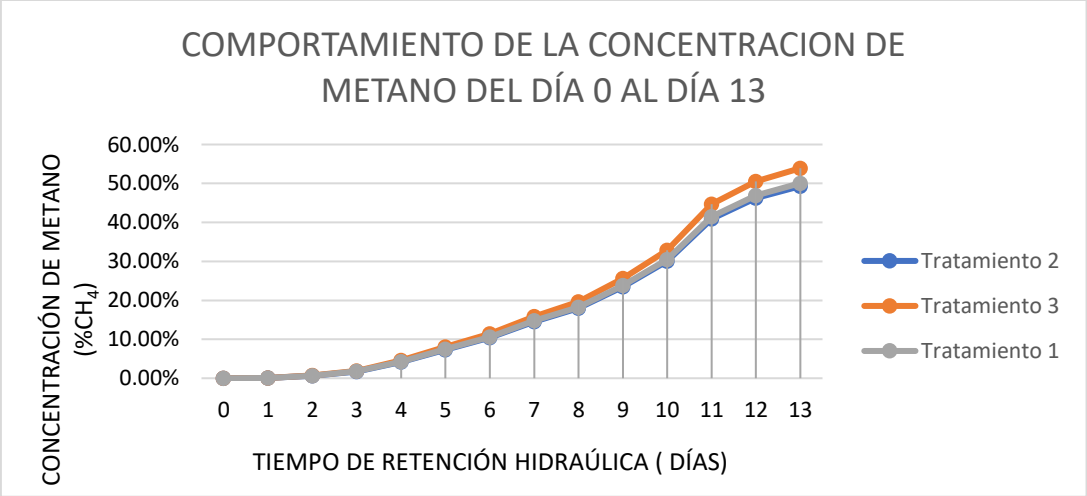


Figura 35. Comportamiento de la concentración del metano del día 0 al día 13 (31 de octubre al 13 de noviembre).

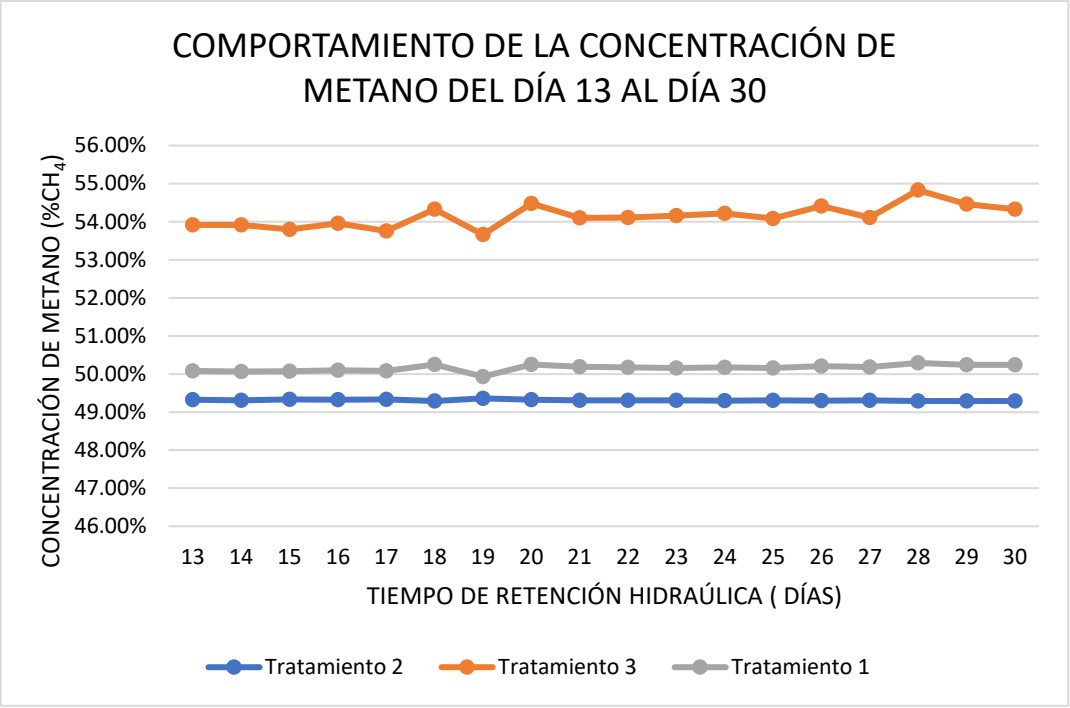


Figura 36. Comportamiento de la concentración del metano del día 13 al día 30 (13 de noviembre al 30 de noviembre).

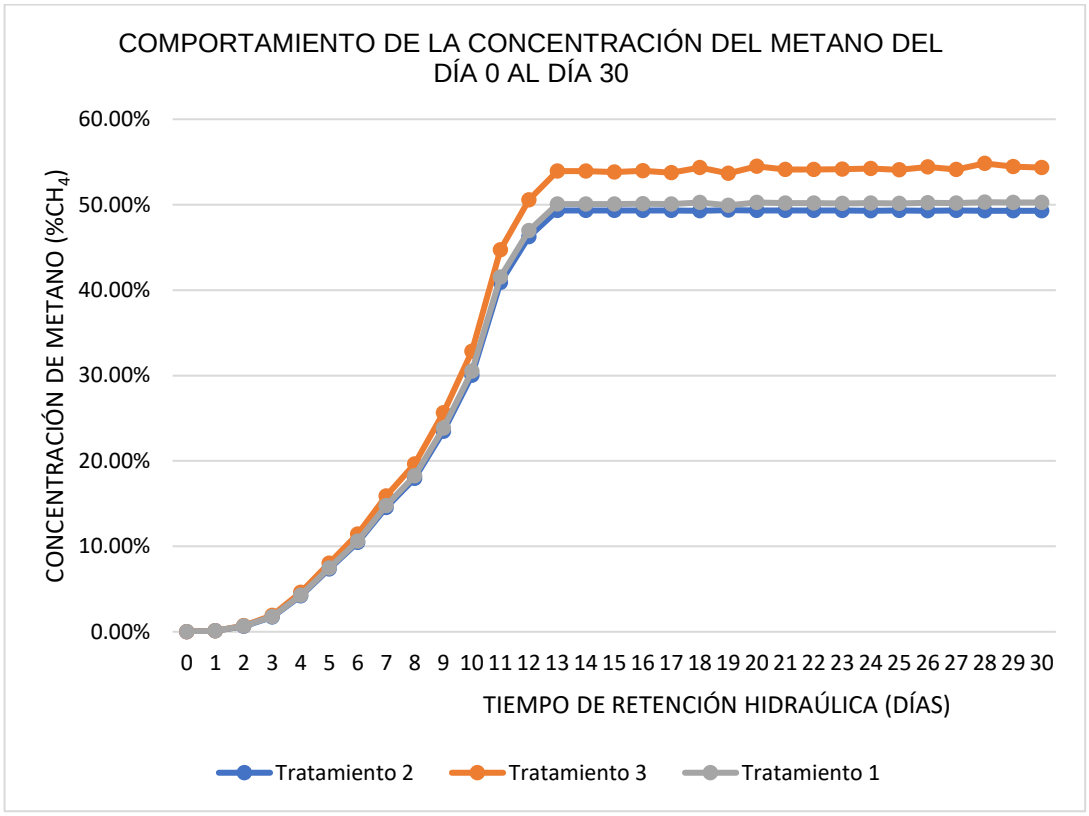


Figura 37. Comportamiento de la concentración del metano del día 0 al día 30 (31 de octubre al 30 de noviembre).

En las figuras 35, 36 y 37 se observa el comportamiento de la concentración de metano en los 30 días de retención hidráulica. En las cuales se puede

observar que en los 13 primeros días de retención hidráulica (figura 35) existe un crecimiento respecto a este parámetro, y a partir del día 13 al 30 (Figura 36) se observa una estabilidad respecto a la concentración del metano.

Se puede apreciar en la figura 37 que desde el inicio del monitoreo el tratamiento 3, siempre estuvo liderando, en el intermedio se mantiene el tratamiento 2 y por último el tratamiento 1; y así fluctúa en todo el tiempo de retención hidráulica monitoreado.

Desde el punto de vista de concentración de metano, el mejor tratamiento es del biodigestor 3, que obtiene hasta un 54,14% de metano; y así lo afirma el autor Álvarez, P. (2014), en su estudio de calidad de biogás realizada en la empresa Manuelita en Colombia, donde monitoreo la concentración de metano entre los meses de enero a julio, donde obtuvo un promedio de 56% de concentración de metano; al igual que los estudios realizados por la UNFCC (2013) en la extractora de aceite tequedema en Colombia y en palmas del espino ubicado en Uchiza – San Martin donde obtuvo promedios de concentración de metano entre 60 a 65%; como también los estudios realizados por Cuellar, S. (2016) en plantas extractoras ubicadas en Tailandia donde obtuvo promedios de concentración de metano de 58% y como lo indica Gutiérrez et al (2012), un biogás es de calidad cuando la concentración de metano fluctúa entre 50 a 80% y su poder calorífico entre 5000 a 6000 Kcal/m^3.

4.1.1.1. Concentración del dióxido de carbono en los tres tratamientos

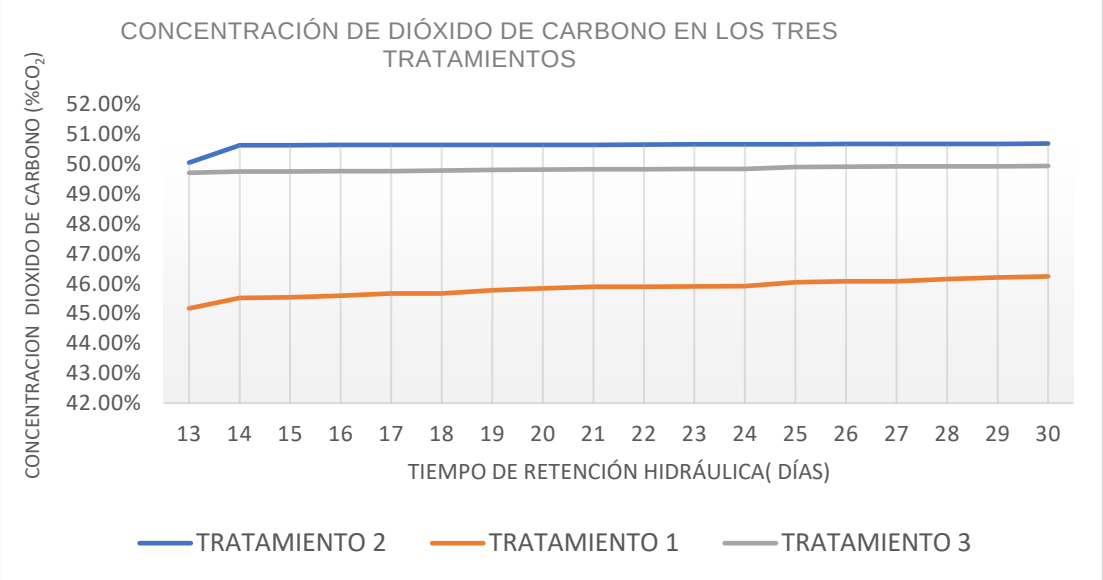


Figura 38. Comportamiento de la concentración del Dióxido de carbono del día 13 al día 30 (13 de noviembre al 30 de noviembre).

En la figura 38 se observa el comportamiento de la concentración del dióxido de carbono en los tres tratamientos, la cual el tratamiento 3 muestra tener menor concentración de CO_2 con un resultado de 45,86% según los días monitoreados, le sigue a nivel intermedio el tratamiento 1 con un resultado de 49,85% y por último el tratamiento 2 que presenta

tener mayor concentración de dióxido de carbono con un resultado de 50,69%.

Los resultados mostrados respecto al dióxido de carbono, es un resultado muy próximo, ya que se debe entender que el biogás, no sólo lo conforma el metano y el dióxido de carbono, sino también en menores proporciones menores el sulfuro de hidrógeno y presencia de otros gases.

Por lo tanto, según los resultados mostrados el biodigestor 2 no compiten en el rango de biogás de calidad por encontrarse con mayor proporción de dióxido de carbono con un resultado promedio de 50,69%, y así lo afirma Gutiérrez et al (2012), donde indica que el biogás de calidad debe fluctuar la concentración de dióxido de carbono entre 20 a 50%.

4.1.1.2. Monitoreo de la temperatura interna en los biodigestores durante el tiempo de retención hidráulica.

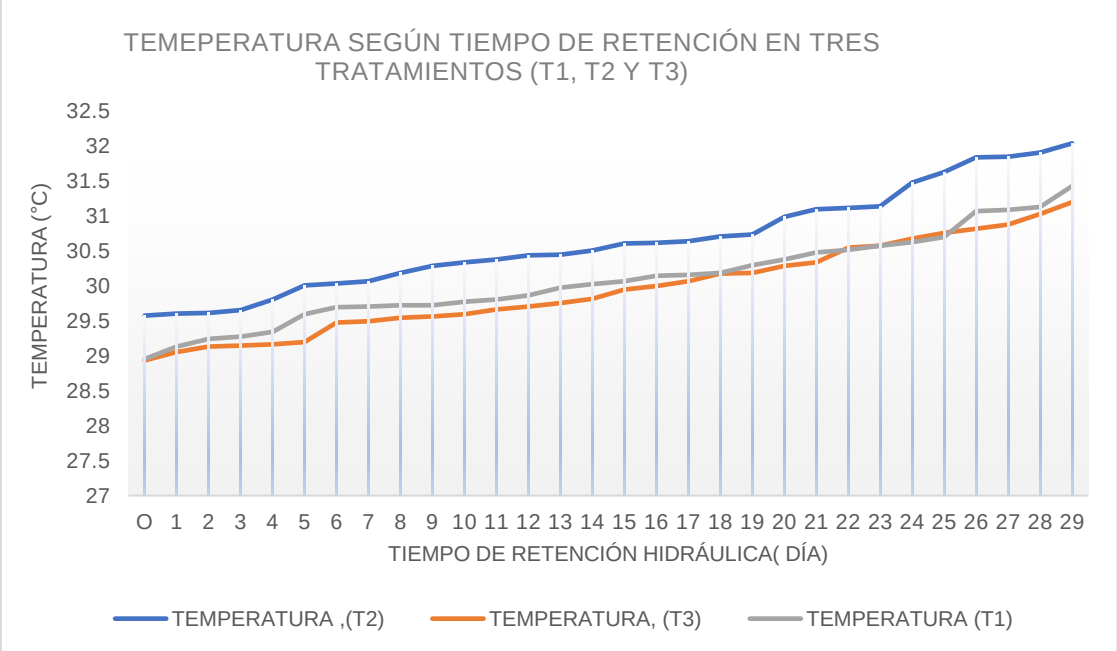


Figura 39. Comportamiento de la temperatura interna en los biodigestores en cada tratamiento del día 1 al día 30. (31 de octubre al 30 de noviembre).

La figura muestra el comportamiento de la temperatura en cada biodigestor y por ende en cada tratamiento, donde se puede observar que existe un incremento de temperatura en cada tratamiento durante el tiempo de retención hidráulica.

En el tratamiento 1, hubo un aumento de 2,47 °C en promedio desde el primer día.
En el tratamiento 2, hubo un aumento de 2,46 °C y el tratamiento 3, tuvo un aumento promedio de 2,26 °C.

Si bien es cierto, los efluentes directamente vertidos tienen en promedio más de 70°C de temperatura por lo que se acondicionó un tanque de

homogenización para poder estabilizar la temperatura del efluente con la del ambiente, y posterior a ello, realizar las cargas a los biodigestores. Sin embargo, al encontrarse en el envoltorio de los biodigestores y al exterior, eran afectados por la temperatura ambiente y la radiación solar haciendo que en el interior de cada biodigestor exista un aumento mayor de 2°C en los diferentes biodigestores durante el tiempo de retención hidráulica, favoreciendo el proceso anaeróbico y la actividad microbiana. Así como lo afirma los autores Hossain, M. & Islam, M. (2008), indicando que el incremento de la temperatura es directamente proporcional al tiempo de retención hidráulica, alcanzando el intervalo de temperatura óptima para el crecimiento de los metanógenos y la producción de biogás entre 25 a 30°C,así como también indican Berktay, A.& Nas, B. (2008), el rendimiento del biogás, así como la proporción de cada compuesto, depende de diversos factores, como: la composición y biodegradabilidad de la materia orgánica, población microbiana, temperatura y pH. Sin embargo, Jiménez, D. (2012) contradice lo indica por los anteriores autores, donde detalla, que la temperatura del medio ambiente y la radiación solar no afectan la temperatura de operación del biodigestor, a pesar de que este se encuentre a la intemperie y sea de color negro.

4.1.1.3. Monitoreo de la temperatura Ambiente y humedad relativa durante el tiempo de retención hidráulica.

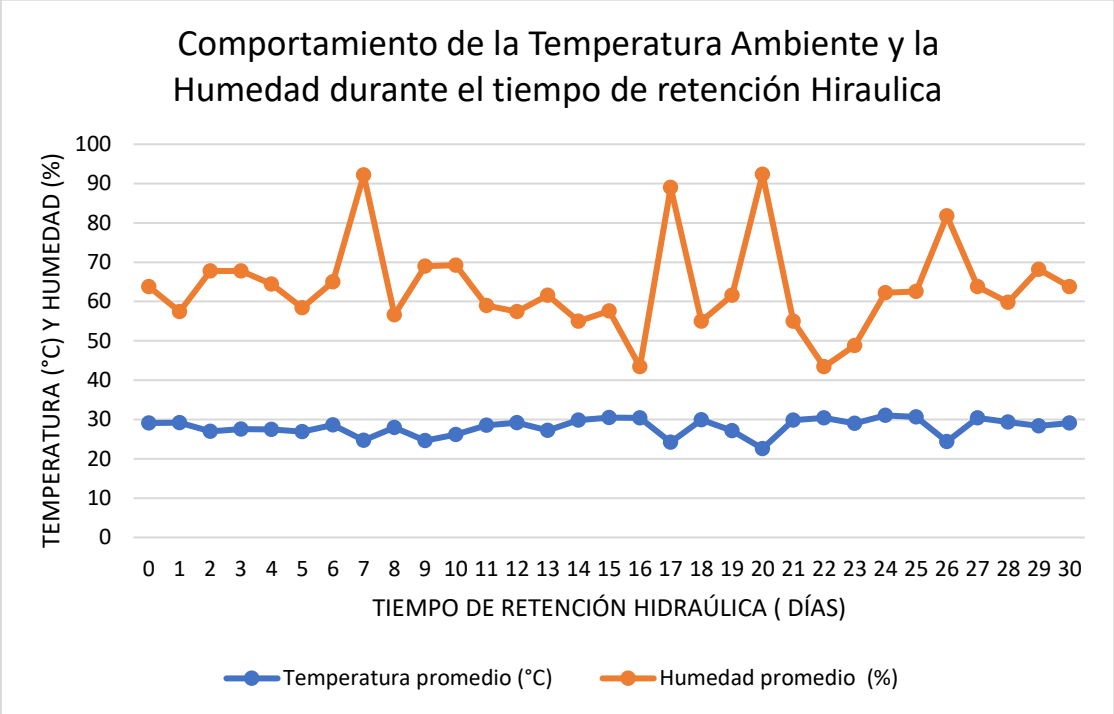


Figura 40. Comportamiento de la temperatura ambiente y humedad relativa durante los 30 días de retención hidráulica (31 de octubre al 30 de noviembre).

La figura muestra el comportamiento de la temperatura ambiente cuyo promedio durante el tiempo de retención hidráulica es de 28,10 °C y la

humedad relativa cuyo promedio es de 63,65%. Como se observa la temperatura tiene un comportamiento que fluctúa entre 20°C a 30°C, favoreciendo la actividad microbiano en el proceso anaeróbico, como también la generación de biogás, así indica Martí (2008), que en ambientes mesófilos cuya temperatura viaria entre 20 a 45°C, el proceso anaeróbico es más veloz porque favorece la actividad de los microorganismos y por ende la producción del biogás, a comparación de ambientes psicrófilos cuya temperatura varía entre 0 a 20°C, el proceso anaeróbico es más lento.

La temperatura del ambiente, estuvo afectando el incremento en la temperatura del interior de los biodigestores, así como lo indica Gajardo (2013), la temperatura del aire, puede explicar en un 69,5% la temperatura del biodigestor, no obstante, el autor detalla que la temperatura del ambiente no afecta la temperatura del suelo, por lo que no se puede considerar que los biodigestores hayan sido afectados por la temperatura térmica del suelo, ya que estos poseen un equilibrio térmico producto de miles de años de dinamismo con la superficie caliente.

4.1.2. Determinación del poder calorífico de cada tratamiento

Tabla 24.
Prueba HSD tukey de los tratamientos con respecto al poder calorífico.

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
B2	18	4666,803556		
B1	18		4746,879511	
B3	18			5124,440533
Sig.		1,000	1,000	1,000

Para la siguiente tabla se muestra que ambos tratamientos difieren estadísticamente significativa entre sí (letras del súper índice diferentes), determinando que el mejor tratamiento con respecto al poder calorífico es el B3.

4.1.2.1. Calculo del poder calorífico

De acuerdo a Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M. & Botero, R. (2007), el poder calorífico del biogás, obtenido de la digestión anaerobia de los efluentes de planta extractora de palma de aceite, se presenta de acuerdo a la siguiente reacción:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 212 \text{ kcal/mol}$$

A condiciones normales: 1 mol = 22,4 L, 1 m^3 = 1000 L

Donde 1 m^3 es igual a 44,64 mol

El poder calorífico del biogás obtenido del primer tratamiento (100% efluentes de palma aceitera) es:

Del calor de combustión se calculó el poder calorífico del metano

$$PC = (212 kcal/mol)(44{,}64 mol/m^3) = 9464\ kcal/m^3$$

Como la concentración promedio del metano es 50,15%; por lo tanto, se calculó un poder calorífico para el biogás en el primer tratamiento de:

$$PC_{50,15\%} = (9464 kcal/m^3)(0{,}5015) = 4746{,}196\ kcal/m^3$$

Siendo el segundo tratamiento (98,67% efluentes de palma aceitera y 1,33% de vacaza) el que manifiesta menor poder calorífico del biogás con una concentración en 49,31% de metano (CH_4), obteniendo un poder calorífico de:

$$PC_{49,31\%} = (9464 kcal/m^3)(0{,}4931) = 4666,6984\ kcal/m^3$$

En el caso del mayor poder calorífico generado del biogás con 54,14% en concentración de metano (CH_4), siendo este el mayor valor obtenido por el tercer tratamiento (96% efluentes de palma aceitera y 4% de vacaza), con un valor de:

$$PC_{54,14\%} = (9464 kcal/m^3)(0{,}5414) = 5124{,}5756\ kcal/m^3$$

Se ha considerado el poder calorífico del biogás como el del metano debido a que, como menciona Blanco, D. et al., (2011), la composición química del biogás indica que el componente más abundante es el metano (CH_4); 40 a

70%; además que el CO_2 no aporta calorías y actúa como moderador de la combustión (Martina, P., Aeberhard, R., Corace, J., Solà, E. & Wasserman, B., 2011).

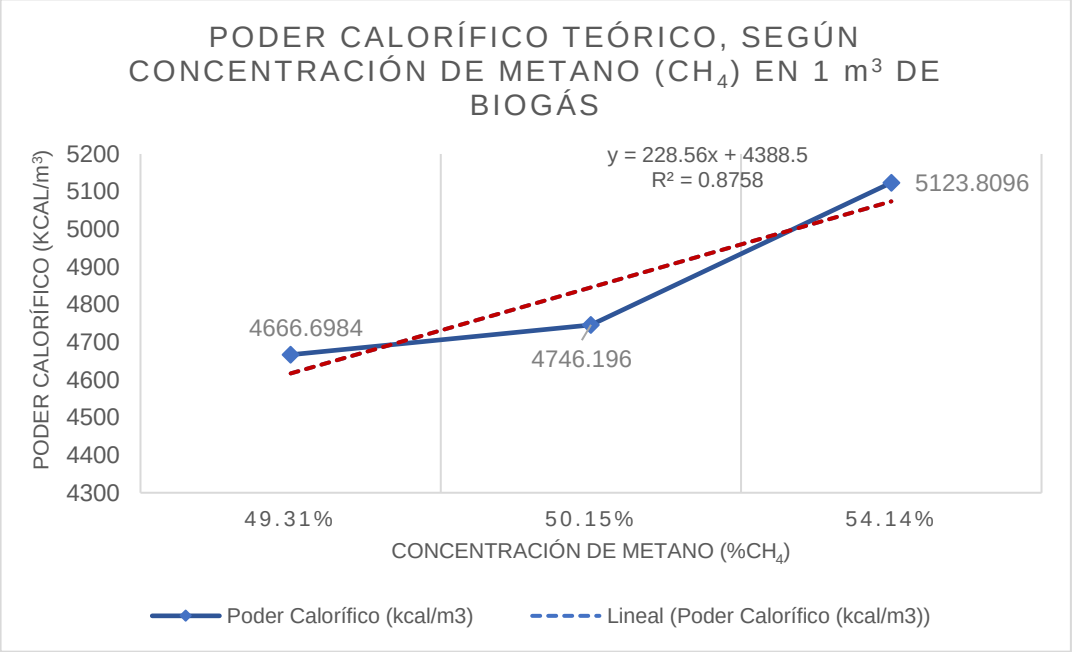


Figura 41. Comparación del poder calorífico obtenido de tres tratamientos.

La figura muestra un incremento o decremento de la tendencia en la generación del poder calorífico, según la concentración de metano (CH_4) en el biogás, esto hace referencia que al obtener una mayor concentración de metano se obtiene un mayor poder calorífico, con 49,31% CH_4 es 4666,84 kcal/m^3, con 50,15% en CH_4 un valor de 4746,196 kcal/m^3 y 5123,8096 kcal/m^3 para 54,14% en CH_4; por lo tanto esto garantiza la utilidad del biogás obtenido de estos tratamientos como combustible, Gutiérrez et al (2012), indica que un biogás de calidad contiene entre 50 a 80% de gas metano en su composición y un poder calorífico de 5000 a 6000 kcal/m^3; coincidiendo con Deublein, D. & Steinhauser, A. (2008), la calidad del gas está directamente relacionada con una mayor cantidad de CH_4 que de CO_2.

Por lo que la mejor calidad del biogás según concentración de metano y el poder calorífico lo tiene el tratamiento 3 del prototipo del biodigestor 3 cuyo sustrato es 7,2 m^3 de efluentes y 300 litros de rumen de vacaza.

4.2. Determinación del potencial energético del biogás.

Los indicadores que garantizan el aprovechamiento en forma de energía eléctrica se muestran en la siguiente tabla, el biogás con mayor concentración de metano, ya que este es la mejor opción para usarlo como combustible en la generación de energía eléctrica, debido a la relación proporcional que existe entre la concentración de metano y poder calorífico.

Tabla 25.
Indicadores para la producción de energía eléctrica en la planta de extracción de aceite de palma, (INDOLMASA).

Indicador	Valor	Unidad
Efluente de palma por jornada laboral (Vef)	40	m^3
Producción de biogás por m^3 de efluente (Pb)	26,07	m^3
Consumo de energía eléctrica en planta (Ce)	51212,73	kWh
Poder calorífico por m^3 de biogás del mejor tratamiento (Pc)	5123,8096	$kcal/m^3$

4.2.1. Rendimiento o productividad de biogás por 1 m^3 de efluente de palma de aceite

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro esencial para el cálculo de la cantidad de biogás generado por determinado volumen de materia orgánica, ya que mediante ello se calcula el consumo o la cantidad de materia orgánica que se pasó a fase gaseosa, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), entre otros gases. Este parámetro fue analizado en el laboratorio acreditado *Natura Analítica*. El monitoreo de la DQO en los experimentos es importante porque es un indicador de cuánta materia orgánica se está degradando para ser convertida en biogás (Nayano, S., Gallert, G. & Winter, J., 2010).

Por otro lado, el parámetro de ST (así como SV y DQO) es proporcional a la cantidad de materia orgánica degradable en una muestra (Zhang, R. & et al, 2007).

Tabla 26.
Demanda química de oxígeno (DQO) medido al inicio y al final del tratamiento.

Parámetro	Valor	∆ DQO	Unidad	Concentración de tratamiento
DQO_i	44517	------	mg/l	------
DQO_{f1}	11000	33517	mg/l	100%
DQO_{f2}	2278	42239	mg/l	98,67%
DQO_{f3}	2444	42073	mg/l	96%

DQO_i: Demanda química de oxígeno del efluente palma aceitera, muestra inicial.

DQO_{f1}: Demanda química de oxígeno del efluente palma aceitera tratada, muestra final del biodigestor 1, con tratamiento 100% efluentes de palma aceitera.

DQO_{f1}: Demanda química de oxígeno del efluente palma aceitera tratada, muestra final del biodigestor 2, con tratamiento 98,67% efluentes de palma aceitera y 1,33% de vacaza.

DQO_{f1}: Demanda química de oxígeno del efluente palma aceitera tratada, muestra final del biodigestor 3, con tratamiento 96% efluentes de palma aceitera y 4% vacaza.

∆DQO: Diferencia de la Demanda química de oxígeno inicial y final del efluente palma aceitera tratada, o materia orgánica consumida durante el tratamiento.

Flotats, X., Campos, E. , Palatsi, J., & Bonmaté, X. (2001) citado por Blanco, L. (2015), menciona que el biogás está formado mayoritariamente por CH_4 y CO_2, si se asume que la DQO del CO_2 es nula, la DQO eliminada corresponde a la DQO obtenida en forma de CH_4. En condiciones normales (p=1 atm y T=0ºC) la producción máxima de metano es de 0,35 m^3 CH_4/kg DQO eliminada.

En base a lo mencionado se presenta la siguiente tabla, correspondientes al biodigestor 1, con tratamiento de 100% efluentes, teniendo en cuenta la temperatura de 30,6 °C medido en el biodigestor.

Tabla 27.
Variables para determinar el rendimiento o productividad de biogás por m³ de efluente.

Variable	Valor	Unidad
P_{mCH_4}	0,39	m^3/Kg de DQO
Δ DQO	33,517	Kg/m^3
V_{eb}	7,5	m^3
V_{CH_4}	50,15	%
V_{CO_2}	49,85	%
V_b	100	%

Donde:

P_{mCH4}: producción máxima de metano a 1 atm y 30,6°C, en el biodigestor 1, con tratamiento de 100% efluente de palma de aceite.

Δ DQO: materia orgánica degrada o convertida en CH_4, durante la digestión.

V_{eb}: volumen de efluente de palma contenida en el biodigestor.

V_{CH_4}: concentración porcentual de metano (CH_4) en el biogás.

V_{CO_2}: concentración porcentual de dióxido de carbono (CO_2) en el biogás.

V_b: concentración porcentual de biogás.

Con estos datos se determinó la cantidad de biogás generados con 100% de efluentes, un volumen de 7,5 m^3, 0,39 m^3 CH_4/kg de DQO y 33,517 kg/m^3 de materia orgánica degrada, esto mediante la siguiente ecuación:

$$V_{CH4} = 0{,}39\ m^3 \text{de}\ CH_4/\text{Kg de DQO}(33{,}517\ \text{Kg}/m^3)(7{,}5\ m^3) = 98{,}04\ m^3\ de\ CH_4$$

Como la digestión anaerobia (DA) es un proceso biológico que en ausencia de oxígeno descompone materia orgánica y cuyo producto principal es el biogás.

Este biogás es una mezcla de aproximadamente 65 % de CH_4 y 35 % de CO_2, aunque también puede contener pequeñas proporciones de otros gases como H_2, N_2, O_2 y H_2S. (Deublein, D. & Steinhauser, A., 2008).

La concentración de metano determinado en el primer biodigestor es del 50,15% de CH_4 y 49,85% de CO_2, esto del 100% del biogás, de esta manera se calcula el volumen de biogás obtenido:

$$V_b = \frac{98{,}04\ m^3\ de\ biogás(100\%)}{50{,}15\%} = 195{,}5\ m^3\ de\ biogás$$

Como los 195,5 m^3 de biogás generados, fue en base a los 7,5 m^3 de efluente, por lo tanto:

$$R_{pb} = \frac{195{,}5\ m^3\ de\ biogás}{7{,}5\ m^3\ de\ efluente} = 26{,}07\ \frac{m^3 de\ biogás}{m^3\ de\ efluente}$$

La producción o rendimiento de la generación de biogás respecto a 1 m^3 de efluente de palma aceitera es de 26,07 m^3.

4.2.2. Biogás total producido en INDOLMASA

Con un volumen de 40 m^3 de efluente producido por jornada laboral en la planta extractora de palma de aceite, y una producción de 26,07 m^3 de biogás obtenidos de 1m^3 de efluentes, se calculó el biogás diario (B_d) de 1042,8 m^3 de efluente mediante la siguiente ecuación.

$$Bd = (\frac{40\ m^3 de\ efluente}{día})(\frac{26{,}07\ m^3 de\ biogás}{m^3 de\ efluente}) = \frac{1042{,}8\ m^3 de\ biogás}{día}$$

La producción de biogás mensual (Bm), considerar días laborales, es de 27112,8 m^3 generados por digestión anaerobia y ser aprovechado como combustible.

$$Bm = (\frac{1042{,}8\ m^3 de\ efluente}{día})(26\ días) = 27112{,}8\ m^3 de\ biogás$$

4.2.3. Consumo de biogás por energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica mensual de la empresa INDOLMASA es de 51212,73 kWh, teniendo en cuenta la equivalencia de poder calorífico en

energía eléctrica se calculó en poder calorífico consumido mensualmente (P_{Cc}) en la empresa, con un valor de 44035021,5 kcal, esto representa en biogás, teniendo en cuenta el poder calorífico del biogás con mayor concentración de metano, se calculó que la empresa requiero un volumen de 8646,90 m^3 de biogás requerido (B_r) para generar energía eléctrica y satisfacer esa demanda.

$$PCc = (51212{,}73\ kWh)(\frac{1\ kcal}{0{,}001163\ kWh}) = \ 44035021{,}5\ kcal$$

$$Br = (44035021{,}5\ kcal)(\frac{1\ m^3\ de\ biogás}{5092{,}5784\ kcal}) = \ 8646{,}90\ m^3\ de\ biogás$$

Energía eléctrica generada en planta

El poder calorífico total (P_{ct}) obtenido de 27112,8 m^3 de biogás y un poder calorífico de 5123,8096 kcal, es de 138920824,92288 kcal, con este resultado se calculó la generación de energía eléctrica utilizando la equivalencia del poder calorífico en energía eléctrica, obteniendo 161688,87 kWh para el consumo en la empresa.

$$Pct = (27112{,}8\ m^3\ de\ biogás)(\frac{5123{,}8096\ kcal}{1\ m^3\ de\ biogás}) = \ 138920824{,}92288\ kcal$$

$$Ee = (138920824{,}92288\ kcal)(\frac{0{,}001163\ kWh}{1\ kcal}) = \ 161564{,}91938530\ kWh$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

1. La mejor calidad del biogás es del tratamiento 3 que contiene 96% efluentes + 4% rumen de vacaza. En el intermedio se encuentra el tratamiento 1 que contiene 100% efluentes; y por último, se encuentra el tratamiento 2, que contiene 98,67% efluentes + 1,33% rumen de vacaza.
2. La mayor concentración de metano se obtuvo en el tratamiento 3 con una concentración de 54,14%; el tratamiento 1 se ubica en el intermedio con una concentración de metano de 50,15 %; y por último, el tratamiento 2 que obtuvo un 49,31%.
3. El mayor poder calorífico de biogás se obtuvo en el tratamiento 3, con un valor de 5123,8096 Kcal/m^3; en el tratamiento 1 se obtuvo, 4746,196 Kcal/m^3; y, por último, el biodigestor 2 es de 4666,6984 Kcal/m^3.
4. El potencial energético del biogás en un periodo mensual es de $161564{,}91938530\ kWh$, este valor representa tres veces mas la demanda de energía que requiere la empresa mensual.

5.2. Recomendaciones.

1. Para garantizar un mejor estudio sobre la calidad del biogás se debe medir la concentración de H_2S, que debe encontrarse menor a las 250 ppm, en un biogás de calidad.

2. Dejar al aire libre los biodigestores, no se debe encarparlo, ya que la incidencia de radiación solar influye para producir mayor volumen de biogás.

3. Se debe añadir mayor o igual a 300 litros de rumen como catalizados, para mejorar la digestión anaeróbica en los efluentes.

4. Para agregar el bicarbonato de calcio se debe disolver con 20 litros de agua por cada un 1kg de cal y realizar las mediciones de pH con un peachímetro, hasta obtener la estabilización del pH. El estudio comprobó que para neutralizar $2m^3$ de efluentes se requiere agregar 6 kg de cal disuelto en 120 litros de agua.

5. El rumen de vacaza debe añadir en la primera carga, incluso se debe mezclar con agua en caso que estos estén deshidratados.

6. Se debe utilizar una bomba de agua residual para el llenado del tanque, porque los efluentes causan obstrucción en las tuberías del sifón.

7. Se debe realizar las cargas en un solo horario todos los días.

8. Se debe realizar limpieza al interior del tanque de almacenamiento de efluentes mensual, para evitar formación de bloques de materia orgánica que impidan la circulación del líquido.

9. En caso de ubicarse los biodigestores en zona arbustas, se debe controlar el crecimiento de arbustos, para evitar que animales se acerquen a los biodigestores y puedan deteriorarlos o causarles alguna abertura.

10. Se debe marcar el tanque de homogenización de acuerdo a la carga diaria que realizarás, así podrás determinar cuanta carga estas añadiendo al biodigestor.

11. Utilizar guantes de latex, mascarilla, botas para protegerse ante la exposición de microorganismos presentes en los efluentes.

BILIOGRAFÍA

1. Abbasi, T., & Colaboradores. (2012). Biogas Energy. Springer: Primera ed, Vol. 2.
2. Álvarez, J., Caneta, L., & Moyano, C. (s. f). Biomasa y biogás.Trabajo de curso (Maquinas Termicas II). Obtenido de Universidad Nacional del Nordeste:. Obtenido de http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf
3. Alvarez, P.(2014). *XII Reunion ténica de palma de aceite*. Obtenido de Generación y uso de biogas en Manuelita aceites y energía, Colombia.: http://www.cenipalma.org/sites/default/files/files/Cenipalma/7-Generacion-y-usobiogas.pdf
4. Amaris, R. (2009). Aprovechamiento del potencial energético de la biomasa residual obtenida de le extraccion de aceite de palma en Colombia. Obtenido de royecto de grado para optar el titulo Ingeniero Quimico: http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6431/2/129377.pdf
5. Avendaño,C. & Martinez, G. (2015). Recuperación de lodos de las lagunas de oxidación provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, para usar como abono en cultivos de palma africana. obtenido de proyecto de grado aplicado para optar al título de Ingeniera Ambiental, UNAD. Obtenido de http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3823/3/91530880.pdf
6. Baten, B. (2013). Diseño de la investigación para la evaluación de la implementacion de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales de un aplanta productora de mayonesa ubicada en el municipio de fraijanes. Obtenido de tesis para optar el titulo de Ingeniero Quimico: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1296_Q.pdf
7. Berktay, A., & Nas, B. (2008). Biogas production and Utilization Potential of Wasterwater Treatment Sludge. Energy Sources , 30, 179-188.
8. BIODIGESTORES ECONÓMICOS, T. d. (26 de noviembre de 2011). Obtenido de http://biodigestoreseconomicos.blogspot.com/2009/02/tipos- de-biodigestores-mas-utilizados.html
9. Blanco, D. et al. (2011). Manual parael diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Matanzas, Cuba. 38 p.: Estación Experimental "Indio Hatuey".
10. Blanco, L. (2015). Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás. Valencia: Universitat Politécnica de Valéncia.
11. Cádenas, J., Quipuzco, L., & Meza, V. (2013). Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, Vol. (16): 7-12.
12. Casiupa. (2016). Metano como fuente de alternativa energética. Obtenido de Metano. Obtenido de http://casiupa2.webcindario.com/metano.pdf
13. Cerda, E. (2013). Energia obtenida de biomasa. Obtenido de Universite complutense de Madrid: http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140__78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf
14. Chattopadhyay, S., & Coautores. (2009). Biofuels. En P. Singh, & A. Pandey (Edits). Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation , 62-76.

15. Cuellar, S. (2016). Congreso Palmero 2016. Obtenido de Experiencias en la generación de energía electrica a partir del biogas en la agroindustria de palma de aceite: http://iicpal2016.grepalma.org/files/presentaciones/INDUSTRIAL/AI-M3.%20AD1%20-%20EXPERIENCIAS%20GENERACION%20ENERGIA%20ELECTRICA%20DE%20BIOGAS%20-%20Monica%20Cuellar.pdf

16. DGEE. (2010). *Direccion general de eficiencia energética*. Obtenido de Aprueban política energética del peru 2010 - 2040: http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf

17. Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). Biogas from waste and renewable resource. An Introduction. WILEY-VCH,. Weinheim, Alemania, 443 pp.
18. Díaz, R., & Vega, J. (2013). Efecto de la variación de la carga orgánica en el desempeño de un reactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket) tratando efluentes de una planta extractora de aceite de palma. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, Vol. 4: 23-32.

19. Duarte, C. (2006). Estudio de factibilidad ténica, económica y ambiental para el aprovechamiento de Biogas producido en el tratamiento de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma de la zona de Puerto Wilches. Obtenido de Especialización en Ingenieria Ambienta. Obtenido de http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/120213.pdf

20. ENERGÍA CASERA. (23 de noviembre de 2011). Energía Casera. Obtenido de http://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion- de-biodigestores

21. Esparza. (s.f). Plan de adecuación y manejo Ambiental (PAMA) de OLPASA. Obtenido de Informe de Practica pre Profesional . Obtenido de https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/INFORME%20FINAL%20PPP%20-%20ESPARZA%20ultimo..pdf.

22. Fernández, M., Abalos, A., Crombret, S., & Caballero, H. (2010). Ensayos de biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales generadas en una planta refinadora de aceite de soja. Interciencia, 600-604.

23. Flotats, X., Campos , E., Palatsi, J., & Bonmaté, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la insdustria alimentaria. Porci; Monografías de actualidad, 65, pp 51-65.

24. Gajardo, A. (2013). Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura en un biodigestor tipo chino. Obtenido de Repositorio académico de la universidad Nacional de Chile, Chile: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114944/Memoria%20de%20T%C3%ADtulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

25. Galindo, L., Samaniego, J., Alatorre, J., Carbonell, J., Reyes, O., & Sánchez, L. (2015). Oche tesis sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina. Santiago: Naciones Unidas.

26. García, K. (2009). Codigestión Anaeróbica de Estiércol y Lodos De de Depuradora para Producción de Biogás. Cádiz-España: Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales.

27. Garzón, P. (24 de julio de 2015). Estudio de la generación de gas metano a partir del agua residual del proceso de extracción de aceite crudo de palma en biodigestores experimentales. Obtenido de Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtencion del titulo de ing. Ambiental en la Universidad San francisco de Quito: https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/avances/archivo_de_contenidos/Documents/volumen_7_numero_2/C130-7-2-2015.pdf

28. GHC. (2010). Emisiones globales de metano y oportunidades de atenuación. Obtenido de Global Methane Iniciative. Obtenido de https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf

29. GHC.(2010).Global Methane Iniciative. Obtenido de https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf

30. Gutierrez & et al. (2012). Biogas. Una alternativa ecologia para la produccion de energia. Obtenido de Ideas Concytec. Obtenido de http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf

31. Herrero, J. (2008). Biodigestores Familiares, Guía de Diseño y Manual de Instalación. Bolivia: GTZ - Energía.

32. Hossain , M., & Islam, M. (2008). An Alternative Fuel for Motor Vehicles. Energy Sources, 942-953.

33. Hossain, M. (2008). An Alternative Fuel for Motor Vehicles. Obtenido de Energy Sources. Obtenido de http://www.tandfonline.com/toc/ueso20/current

34. IPCC. (2013). "Summary for Policymakers", Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Figth Assessment Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change, eds T. F. Stocker y otros . Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

35. IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution. Cambridge: University Press, Cambridge UK.

36. Jiménez, D. (2012). Evaluación de los parámetros de un biodigestor tipo continuo. Univercidad Verecruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

37. Kervyn, B. (09 de octubre de 2009). Biogas con efluentes de palma. Obtenido de Biogas con elfuentes de palma: http://www.tandfonline.com/toc/ueso20/current

38. Laboratorio.Análisis parámetros. (29 de noviembre de 2011). Obtenido de http://rodin.uca.es:8081/xmlui/bitstream/handle/10498/7413V ERSION%20FINAL.pdf?

39. LIMPIAR EL MUNDO. Residuos Sólidos (04 de noviembre de 2011). Obtenido de http://www.cleanuptheworld.org/PDF/es/organicwaste_residu osorgnicos_s.pdf.

40. López. (s. f). Valoración de estiercol de cerdo a traves de la produccion de biogas. Obtenido de Asociación Colombiana de Porcicultores Fondo Nacional de la Porcicultura:. Obtenido de http://www.academia.edu/9681164/VALORIZACI%C3%93N_DEL_ESTI%C3%89RCOL_DE_CERDO_A_TRAV%C3%89S_DE_LA_PRODUCCI%C3%93N_DE_BIOG%C3%81S

41. Manuelita. (2014). Manuelita avanza en su estrategia de sostenibilidad. Obtenido de Captura y Aprovechamiento de Biogas: http://www.manuelita.com/comunicados/manuelita-avanza-en-su-estrategia-de-sostenibilidad/

42. Martina, P., Aeberhard, R., Corace, J., Solá, E., & Wasserman, B. (2011). Diseño y construcción de un calorímetor de junkers para determinación del poder calorífico del biogás. ASADES, Vol. 15, 09-14.

43. Martinez, R., Chavez, E., & López, I. (2008). Utilización del biogás como combustible para motores de combustión En: V Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica (COMEC), 4-6 de noviembre de 2008, UCLV. Santa Clara, Cuba: Centro de Estudios de Termoenergía Azucarera (CETA), 2008. 8 p.

44. Merced, J.(2012). Evaluacion del parámetro de un biodigestor anaerobio tipo continuo. Obtenido de Tesis para optar el grado de maestro en Ingenieria Energética: http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31560/1/delamercedjimenezdiego.pdf

45. Merced, J. (2012). Evaluacion del parámetro de un biodigestor anaerobio tipo continuo. Obtenido de Tesis para optar el grado de maestro en Ingenieria Energética: . Obtenido de http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31560/1/delamercedjimenezdiego.pdf

46. MINAGRI. (s.f). Cadena Agroproductiva de la palma aceitera. Obtenido de Nuevas areas de palma aceitera. Obtenido de http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/corregidopalma.pdf

47. Montzka, S., Dlugokencky, E., & Butler, J. (2011). CO2 greenhouse gases and climate change. Nature, 476: 43-50.

48. Molina, Restrepo, Moreno & Sanchez (2016). determinación a escala laboratorio de la relación sustrato/inóculo en la biodigestión de residuos orgánicos de la universidad EAFIT, Medellin- Colombia. Obtenido de Encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI: https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2016/2016/paper/viewFile/1780/677

49. Morales, V., & Ré, L. (2011). El biodigestor familiar tubular. Obtenido de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cusco_cedepac/presentacio

50. Nayano, S., Gallert, G., & Winter, J. (2010). Co-digestion of press water and food waste in a biowaste digester for improvement of biogas production. Bioresource Technol, 101, 6987-6993- DOI: 10.1016/j biortech. 2010.03.123.

51. Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícollas para la producción de biocombstibles en el departamento del Meta. Centro de Investigaciones AMbientales José Antonio Candamio, Villaviencio, COlombia, 1-15.

52. OLPASA. (2013). PAMA. Obtenido de Datos de monitoreo de aguas residuales de la planta OLPASA. Obtenido de https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/INFORME%20FINAL%20PPP%20-%20ESPARZA%20ultimo..pdf

53. Pérez, M. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicacion en pequeños ganaderos y lecheros. Obtenido de memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil en la Universidad de Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/c

54. Pontón, D. (2010). Diseño De Un Sistema Para La Obtención De Biol Mediante Los Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Cantón Joya De Los Sachas. Roibamba-Ecuador: Facultad De Ciencias., Ingeniería Química., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

55. Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M., & Botero, R. (2007). Generación de energía eléctrica a partir de biogás. EARTH, 3(2): 227-235.

56. Rivas, O., Faith, M., & Guillén, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología en Marcha, Vol. 23: 39-46.

57. Silva, J. (2016). Tecnologia del biogas. Obtenido de Univesidad del valle-facultad de ingeneiria: . Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

58. Trañas, C. F. (2009). Aprovechamiento De La Biomasa (Raquis) Como Combustible Para Incrementar La Producción De Energía Térmica (Vapor) En La Caldera. trabajo de graduación para conferir el título de Ingeniero Industrial Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2142_IN.pdf.

59. UNNFCC. (2013). Project Design Document (PDD). Obtenido de Palmas del Espino – Biogas recovery and heat generation from palt Oil Mill Effluent: https://cdm.unfccc.int/filestorage/j/g/GV5P06W9AMKDXZ1TENJQC3RYS4FOU7.pdf/PDD%20Project%201249%20version%208.pdf?t=cmR8b2hvZHdjfDBgKTwWS5d48DPgrW23la_k

60. Vargas, P. (2006). Introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos, Obtenido de . Obtenido de http://www.cienciafacil.com/energiascapitulo1.pdf

61. Varnero, M. (2011). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Obtenido de Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile. Obtenido de http://www.worldcat.org/title/informe-tecnico-aprovechamiento-racional-de-desechos-organicos/oclc/503240891

62. Vic., U. (14 de septiembre de 2009). “Evaluación funcional de sistemas de tratamiento de deyecciones". Obtenido de <http://www.arc cat.net/es/altres/purins/guia/docs/rendiments.pdf>

63. Wang, A., & Coautores. (2011). Advances in Biogas Technology. . Advances in Biogas Technology. (T. Scheper, & Coeditores, Edits.) Advances in Biochemical Engineering Biotechnology, 1-23.

64. Zhang, R., El-Mashad, H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., & Gamble, P. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technol, 98, 929-935.

ANEXOS
ANEXO 1.

Tabla 28.
Temperatura y humedad promedio durante el tiempo de retención.

Días	Fechas	Temperatura promedio (°C)	Humedad promedio (%)
0	31/10/2017	29,08	63,80
1	1/11/2017	29,18	57,40
2	2/11/2017	26,96	67,80
3	3/11/2017	27,56	67,80
4	4/11/2017	27,44	64,40
5	5/11/2017	26,92	58,40
6	6/11/2017	28,58	65,00
7	7/11/2017	24,72	92,20
8	8/11/2017	27,94	56,60
9	9/11/2017	24,62	69,00
10	10/11/2017	26,14	69,20
11	11/11/2017	28,50	59,00
12	12/11/2017	29,18	57,40
13	13/11/2017	27,24	61,60
14	14/11/2017	29,8	55,00
15	15/11/2017	30,46	57,60
16	16/11/2017	30,40	43,40
17	17/11/2017	24,20	89,00
18	18/11/2017	29,94	55,00
19	19/11/2017	27,12	61,60
20	20/11/2017	22,60	92,40
21	21/11/2017	29,80	55,00
22	22/11/2017	30,40	43,40
23	23/11/2017	29,00	48,80
24	24/11/2017	31,04	62,20
25	25/11/2017	30,64	62,60
26	26/11/2017	24,40	81,80
27	27/11/2017	30,40	63,80
28	28/11/2017	29,36	59,80
29	29/11/2017	28,38	68,20
30	30/11/2017	29,08	63,80

ANEXO 2

Tabla 29.
Porcentaje de metano en los tres tratamientos durante tiempo de retención hidráulica.

Porcentaje de metano en los tres tratamientos durante tiempo de retención hidráulica				
Días	**Fechas**	**Tratamiento 2**	**Tratamiento 3**	**Tratamiento 1**
0	31/10/2017	0,00%	0,00%	0,00%
1	1/11/2017	0,10%	0,11%	0,10%
2	2/11/2017	0,65%	0,71%	0,66%
3	3/11/2017	1,74%	1,90%	1,77%
4	4/11/2017	4,20%	4,59%	4,27%
5	5/11/2017	7,35%	8,03%	7,46%
6	6/11/2017	10,45%	11,42%	10,61%
7	7/11/2017	14,54%	15,89%	14,76%
8	8/11/2017	17,96%	19,64%	18,24%
9	9/11/2017	23,46%	25,65%	23,82%
10	10/11/2017	30,03%	32,83%	30,49%
11	11/11/2017	40,89%	44,71%	41,52%
12	12/11/2017	46,24%	50,55%	46,95%
13	13/11/2017	49,32%	53,92%	50,08%
14	14/11/2017	49,31%	53,92%	50,06%
15	15/11/2017	49,33%	53,80%	50,07%
16	16/11/2017	49,32%	53,96%	50,10%
17	17/11/2017	49,33%	53,76%	50,08%
18	18/11/2017	49,29%	54,33%	50,25%
19	19/11/2017	49,36%	53,66%	49,93%
20	20/11/2017	49,32%	54,48%	50,25%
21	21/11/2017	49,31%	54,10%	50,19%
22	22/11/2017	49,31%	54,11%	50,17%
23	23/11/2017	49,31%	54,16%	50,16%
24	24/11/2017	49,30%	54,22%	50,17%
25	25/11/2017	49,31%	54,08%	50,16%
26	26/11/2017	49,30%	54,41%	50,21%
27	27/11/2017	49,31%	54,11%	50,18%
28	28/11/2017	49,29%	54,83%	50,29%
29	29/11/2017	49,29%	54,46%	50,24%
30	30/11/2017	49,29%	54,33%	50,24%

ANEXO 3

Tabla 30.
Temperatura interna de cada tratamiento durante tiempo de retención hidráulica.

Temperatura interna de cada tratamiento durante el tiempo de retención hidráulica				
Días	Fechas	TEMPERATURA, (T2)	TEMPERATURA, (T3)	TEMPERATURA (T1)
0	31/10/2017	29,57	28,93	28,95
1	1/11/2017	29,57	28,93	28,95
2	2/11/2017	29,60	29,05	29,13
3	3/11/2017	29,61	29,13	29,24
4	4/11/2017	29,65	29,14	29,27
5	5/11/2017	29,80	29,16	29,34
6	6/11/2017	30,00	29,19	29,59
7	7/11/2017	30,03	29,47	29,69
8	8/11/2017	30,06	29,49	29,70
9	9/11/2017	30,18	29,54	29,72
10	10/11/2017	30,28	29,56	29,72
11	11/11/2017	30,33	29,59	29,77
12	12/11/2017	30,37	29,66	29,80
13	13/11/2017	30,43	29,70	29,86
14	14/11/2017	30,44	29,75	29,97
15	15/11/2017	30,50	29,81	30,02
16	16/11/2017	30,60	29,94	30,06
17	17/11/2017	30,61	29,99	30,14
18	18/11/2017	30,63	30,06	30,15
19	19/11/2017	30,70	30,17	30,18
20	20/11/2017	30,73	30,18	30,29
21	21/11/2017	30,98	30,28	30,37
22	22/11/2017	31,09	30,33	30,47
23	23/11/2017	31,11	30,54	30,51
24	24/11/2017	31,13	30,57	30,57
25	25/11/2017	31,47	30,67	30,62
26	26/11/2017	31,62	30,75	30,69
27	27/11/2017	31,83	30,81	31,06
28	28/11/2017	31,84	30,87	31,08
29	29/11/2017	31,90	31,02	31,12
30	30/11/2017	32,03	31,19	31,42

ANEXO 4

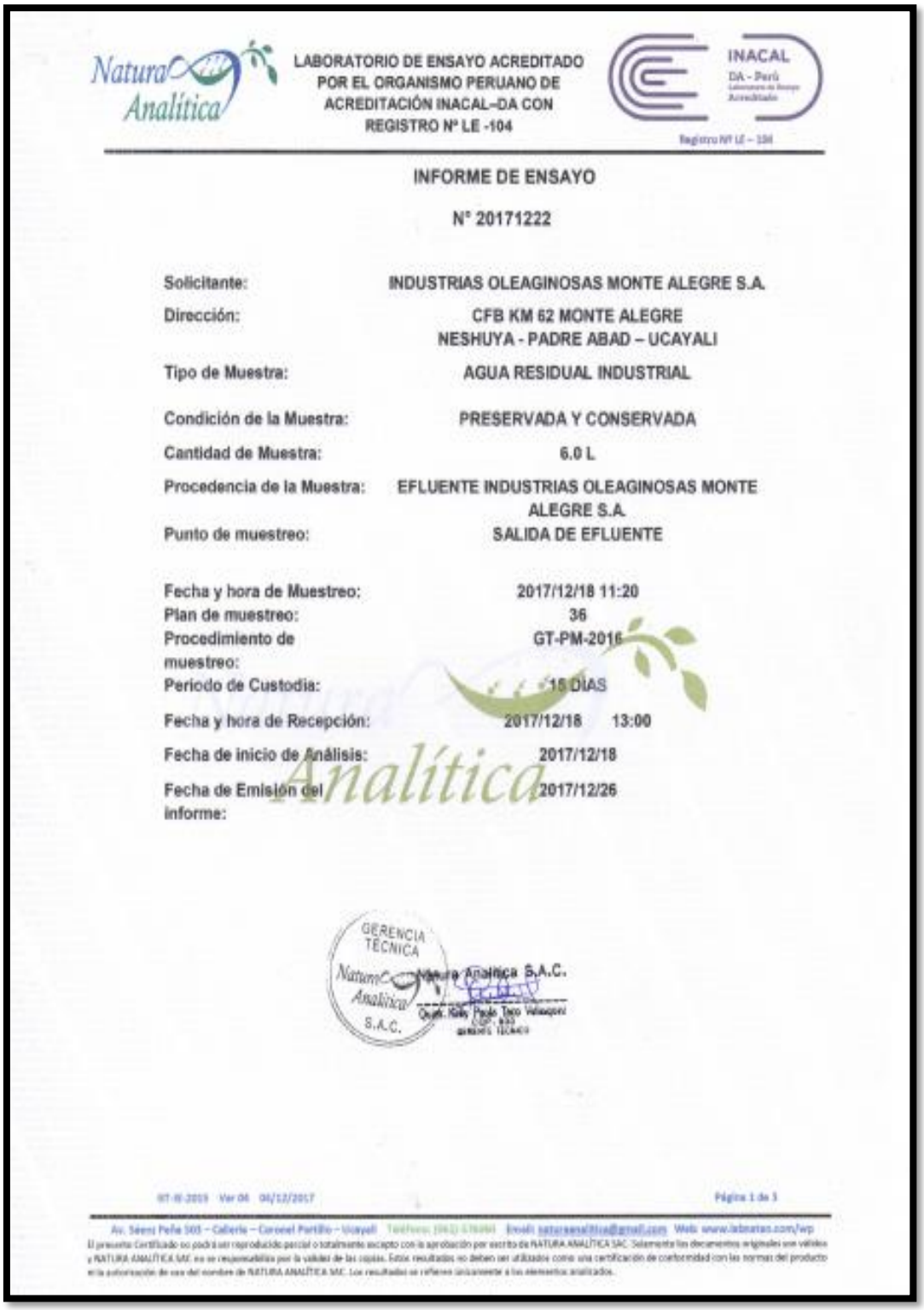
Tabla 31.

Porcentaje de Dióxido de carbono por cada tratamiento.

Porcentaje de Dióxido de carbono en cada tratamiento				
Días	**Fechas**	**T2**	**T3**	**T1**
13	13/11/2017	50,05%	45%	49,71%
14	14/11/2017	50,63%	46%	49,75%
15	15/11/2017	50,63%	46%	49,75%
16	16/11/2017	50,64%	46%	49,76%
17	17/11/2017	50,64%	46%	49,76%
18	18/11/2017	50,64%	46%	49,79%
19	19/11/2017	50,64%	46%	49,81%
20	20/11/2017	50,64%	46%	49,82%
21	21/11/2017	50,64%	46%	49,83%
22	22/11/2017	50,65%	46%	49,83%
23	23/11/2017	50,67%	46%	49,84%
24	24/11/2017	50,67%	46%	49,84%
25	25/11/2017	50,67%	46%	49,90%
26	26/11/2017	50,68%	46%	49,91%
27	27/11/2017	50,68%	46%	49,92%
28	28/11/2017	50,68%	46%	49,92%
29	29/11/2017	50,68%	46%	49,93%
30	30/11/2017	50,69%	46%	49,94%

ANEXO 5

Informe de ensayo del muestreo de parámetros del efluente



Natura Analítica

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL–DA CON REGISTRO Nº LE -104

INACAL DA - Perú

Registro Nº LE – 104

INFORME DE ENSAYO

N° 20171222

Solicitante:	INDUSTRIAS OLEAGINOSAS MONTE ALEGRE S.A.
Dirección:	CFB KM 62 MONTE ALEGRE NESHUYA - PADRE ABAD – UCAYALI
Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Condición de la Muestra:	PRESERVADA Y CONSERVADA
Cantidad de Muestra:	6.0 L
Procedencia de la Muestra:	EFLUENTE INDUSTRIAS OLEAGINOSAS MONTE ALEGRE S.A.
Punto de muestreo:	SALIDA DE EFLUENTE
Fecha y hora de Muestreo:	2017/12/18 11:20
Plan de muestreo:	36
Procedimiento de muestreo:	GT-PM-2016
Periodo de Custodia:	15 DIAS
Fecha y hora de Recepción:	2017/12/18 13:00
Fecha de inicio de Análisis:	2017/12/18
Fecha de Emisión del informe:	2017/12/26

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

Natura Analítica S.A.C.

Página 1 de 3

Av. Séenz Peña 503 – Calleria – Coronel Portillo – Ucayali Teléfono: (061) 578060 Email: naturaanalitica@gmail.com Web: www.labnatan.com/wp

El presente Certificado no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NATURA ANALÍTICA SAC. Solamente los documentos originales son válidos y NATURA ANALÍTICA SAC no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso del nombre de NATURA ANALÍTICA SAC. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados.

Natura Analítica

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL–DA CON REGISTRO Nº LE -104

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro Nº LE – 104

INFORME DE ENSAYO Nº 20171222- NA

RESULTADOS DE LABORATORIO FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	LIMITE DE DETECCIÓN	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN
ACEITES Y GRASAS	3699	mg/l	2,0	5,0
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	19400	mg/l	2,0	5,0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	44517	mg/l	3,0	9,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	25562,5	mg/l	1,4	3,7

Fecha de análisis: 2017/12/18
Observaciones: NINGUNA

MÉTODOS DE ENSAYO APLICADOS

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO
ACEITES Y GRASAS	EPA 1664 B: N-HEXANE EXTRACTABLE MATERIAL (HEM: OIL AND GREASE) AND SILICA GEL TREATED N-HEXANE EXTRACTABLE MATERIAL (SGT-HEM: NON POLAR MATERIAL) BY EXTRACTION AND GRAVIMETRY - 2010
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D: TOTAL SUSPENDED SOLIDS DRIED AT 103-105°C - Ed. 22 - 2012
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	SM 5220 D: CLOSED REFLUX, COLORIMETRIC METHOD - Ed. 23 - 2017
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	SM 5210 B: 5 DAY BOD TEST - Ed. 22 - 2012

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

RESULTADOS DE LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	<1.8	NMP/100ml

Fecha de Análisis: 2017/12/18
Observaciones: NINGUNA

Av. Sáenz Peña 503 – Callería – Coronel Portillo – Ucayali Teléfono: (061) 570000 Email: naturaanalitica@gmail.com Web: www.laboratori.com/lap

El presente Certificado no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NATURA ANALÍTICA SAC. Solamente los documentos originales son válidos y NATURA ANALÍTICA SAC no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso del nombre de NATURA ANALÍTICA SAC. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados.

INFORME DE ENSAYO Nº 20171222 – NA

MÉTODOS DE ENSAYO APLICADOS

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO
* COLIFORMES TERMOTOLERANTES	SM 9221 E. FECAL COLIFORM PROCEDURE - Ed. 22 - 2012

* Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA

RESULTADOS DE CAMPO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	TEMPERATURA DE LECTURA
TEMPERATURA	>100	°C	–
pH	4.54	–	24,8°C
CONDUCTIVIDAD	2980	uS/cm	24,8°C

Fecha de análisis: 2017/12/18

Observaciones: NINGUNA

MÉTODOS DE ENSAYO APLICADOS

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO
* TEMPERATURA	SM 2550 B. LABORATORY AND FIELD METHODS - Ed. 22 - 2012
* PH	SM 4500-H+ B. ELECTROMETRIC METHOD - Ed. 22 - 2012
* CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B. LABORATORY METHOD - Ed. 22 - 2012

* Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA

"Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL – DA"
"Está prohibido el uso del símbolo o declaración de condición de acreditado por parte del laboratorio y de los clientes".

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Natura Analítica S.A.C.

**Declara Confidencialidad, imparcialidad y objetividad de los resultados emitidos*

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Av. Sáenz Peña 503 – Callería – Coronel Portillo – Ucayali Teléfono: (061) 570089 Email: naturaanalitica@gmail.com Web: www.laboratorio.com/na

El presente Certificado no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NATURA ANALÍTICA SAC. Solamente los documentos originales son válidos y NATURA ANALÍTICA SAC no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso del nombre de NATURA ANALÍTICA SAC. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados.

ANEXO 6

Informe de DQO después del tratamiento de biodigestores en cada tratamiento.

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 20180209

SOLICITANTE	NEGOCIOS AMAZONICOS SUSTENTABLES EIRL
RUC	20393752221
DIRECCION	Jr. Pachacutec Mz 06 Lt 17 - Manantay
*MUESTRA	**EFLUENTE INDUSTRIAL**
CÓDIGO DEL CLIENTE	**N°01** **N°02** **N°03**
FORMA Y PRESENTACIÓN	3 botellas de vidrio
CANTIDAD RECIBIDA	1000 ml/botella aprox.
NORMA TECNICA	D.S. N° 003-2010-MINAM – "Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales"
ANALISTA RESPONSABLE	Quim. Kelly Paola Taco Velásquez
FECHA DE INGRESO	09/02/2018
COLECTOR	Luis Victoriano Vasquez Gomez
ANÁLISIS SOLICITADOS	**DQO**
FECHA INICIO DE ENSAYO	09/02/2018
FECHA TERMINO DE ENSAYO	10/02/2018
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	10/02/2018

*El laboratorio solo se hace responsable de la muestra a partir de su recepción

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

	PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
MUESTRA N°01	DQO	mg/L	SM 5220 D	11 000
MUESTRA N°02	DQO	mg/L	SM 5220 D	2 278
MUESTRA N°03	DQO	mg/L	SM 5220 D	2 444

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
Laboratorio Clínico y Análisis Biológicos
CBP 5274 RNE 0138

1 de 1

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

ANEXO 7

ICONOGRAFÍA



Figura 42. Poza de retención del efluente del proceso de extracción.



Figura 43. Análisis en campo del efluente.



Figura 44. Análisis en laboratorio del efluente.



Figura 45. Análisis DQO del efluente en espectrofotómetro.



Figura 46. Tolda para protección de las zanjas ante las lluvias.



Figura 47. Zanjas y depósitos de biol en área de estudio.



Figura 48. Acondicionamiento de las zanjas para instalación de biodigestores.



Figura 49. Sistema de tubería para carga de biodigestores.



Figura 50. Suministro de aire a los biodigestores para verificar condiciones de la zanja.



Figura 51. Mezcla de cal + agua.



Figura 52. Pesaje de cal



Figura 53. Peachimetro para medición de pH



Figura 54. Muestra de 100 ml para control de pH.



Figura 55. Instalación de barómetro para medición de presión del biogás.



Figura 56. Protección de 24 horas de los biodigestores con tolda por presencia de lluvias.



Figura 57. Sensores para monitoreo de estudio.



Figura 58. Diseño de sifón para carga a los biodigestores.



Figura 59. Agitadores del sustrato.



Figura 60. Salida del biol.



Figura 61. Revisión del llenado del Tanque de homogenización con efluentes.



Figura 62. Rumen de vacaza para carga del B2 Y B3.



Figura 63.Casa de seguridad para protección el sistema arduino.



Figura 64. Instalación de sensores de monitoreo.



Figura 65. Tanque de Homogenización.



Figura 66. Prototipo de biodigestores mediante tres tratamientos con sustrato de efluentes y rumen de vacaza.



Figura 67. Gasómetros de 2m^3.



Figura 68. Gasómetro de cada biodigestor