UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE DOS BIODIGESTORES EN LA VARIACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA DEL EFLUENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, UCAYALI 2017.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

LUIS VICTORIANO VASQUEZ GOMEZ

PUCALLPA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 95

En el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, siendo las 09:20 a.m. del día viernes 10 de mayo del 2019, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador con Memorando Múltiple N° 084-2019-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza	Presidente
Dr. Edgardo García Saavedra	Miembro
Ing. M.Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez	Miembro

Para evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **"EFECTO DE DOS BIODIGESTORES EN LA VARIACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA DEL EFLUENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, UCAYALI 2017";** presentado por el Bachiller **LUIS VICTORIANO VÁSQUEZ GÓMEZ,** asesorado por el **Dr. GROBER PANDURO PISCO.**

Terminada la sustentación se procedió a realizar las preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas satisfactoriamente por el sustentante, por lo que el Jurado Evaluador **APROBÓ por UNANIMIDAD** con el calificativo de **BUENO.** En consecuencia el sustentante se encuentra **APTO** para obtener el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, previamente subsanando las observaciones hechas por el Jurado Evaluador.

Siendo las 10:30 a.m. del mismo día, se dio por concluida el acto académico.

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Presidente

Dr. Edgardo Garcia Saavedra
Miembro

Ing. M.Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Está tesis fue sometida a consideración para su Aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza

Presidente

Dr. Edgardo García Saavedra

Miembro

Ing. M.Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez

Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco

Asesor

Ing. Jesús Cotrina Barrueta

Co-Asesor

Bach. Luis Victoriano Vasquez Gomez

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 182

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

"EFECTO DE DOS BIODIGESTORES EN LA VARIACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA DEL EFLUENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA, UCAYALI 2017"

Cuyo autor es:	**VASQUEZ GOMEZ, LUIS VICTORIANO**
Asesor:	Dr. PANDURO PISCO, GROBER
Escuela profesional:	INGENIERÍA AMBIENTAL
Facultad:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 09%.

El tal que de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO (10%), en el artículo 9: "Criterios de porcentaje de similitud". Se declara, que dicho trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 28/05/2019

Firma: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYAL DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL
DRA. DINA PARI QUISPE
Direc. Gral Prod Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Luis Victoriano Vasquez Gomez
Autor de la TESIS titulada:
Efecto de Dos Biodigestores en la Variación de la Carga Orgánica del Efluente de la Planta Extractora de Aceite de Palma, Ucayali 2017.

Sustentada el año: 2019
Con la asesoría de: Dr. Grober Panduro Pisco
En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales
Carrera Profesional de: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:

Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: declaro que la tesis es una creación de autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: autorizo que:

[X] Total (Significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

[ ] Parcial (Significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio)

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU
En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 03 / 06 / 19

Email: luis.victoriano.vasquez.gomez@gmail.com **Firma:** 
Teléfono/Celular: 910593448 **DNI:** 75722933

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme en cada paso que he dado.

A la memoria de mis abuelitos Julia Souza Ramírez, Juana Murayari Silvano, Maria Verena Gomez Lopez, Anuario Gomez Cauper y Victoriano Vasquez Torres por ser mis ángeles que cuidan de mí.

A mi mamá Lilia Iracema Gomez Souza por ser una mujer virtuosa, luchadora, mi fortaleza física y emocional en el transcurso de toda mi formación profesional.

A mis hermanos Humbelina, Elisabeth, Jessica Mariela, Liz Paquita y Carlos Anuario, por brindarme su apoyo y ser mis motivaciones.

A todos mis seres queridos que están siempre a mi lado que de una u otra manera contribuyeron a desarrollarme profesionalmente, inspirándome a hacer toda buena obra en beneficio de la sociedad y el mundo.

AGRADECIMIENTO

A INNOVATE-Perú y a la empresa Negocios Amazónicos Sustentables E.I.R.L., por ser la empresa que brindó el financiamiento y las facilidades para la ejecución de la presente Tesis.

A la Universidad Nacional de Ucayali, mi Alma Mater, por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional y por el Cofinanciamiento a través del Fondo de Desarrollo Socioeconómico del Proyecto de Camisea- FOCAM que contribuyó a ejecutar gastos administrativos del proyecto.

A los Catedráticos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental por su esmerada labor; a quienes valoro, respeto, guardo una profunda gratitud y reconocimiento.

Al Dr. Grober Panduro Pisco, asesor; Ing. Jesus Cotrina Barrueta, co-asesor de la presente Tesis, por su valiosos apoyo, confianza, aportes en el desarrollo y ejecución del trabajo de investigación.

Al Ing. Angel Kelsen Arbaiza Peña, por su valioso aporte en la Tesis.

Al Lic. Norberto Angulo Garcia, gerente de la Empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A., por las facilidades e ingreso para desarrollar el proyecto en sus instalaciones.

A mis colegas del proyecto “Generación de energía eléctrica y producción de bioabono a partir de lodos de la planta extractora de aceite de palma, distrito de Neshuya, provincia de Coronel Portillo, Ucayali”, por el trabajo en equipo y apoyo en la ejecución del proyecto.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE DEL CONTENIDO viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
RESUMEN xiii
ABSTRACT xiv
INTRODUCCIÓN 15
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17
1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA 19
1.1.1. Problema General 19
1.1.2. Problemas Específicos 19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 20
2.1. ANTECEDENTES 20
2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA 23
2.2.1. Palma aceitera en el perú 23
2.2.2. Estudio de los efluentes de plantas extractoras 24
2.2.3. Monitoreo del estudio del proceso en la planta extractora de OLPASA – Ucayali 25
2.2.4. Biodigestor 26
2.2.5. Clasificación de biodigestores 27
2.2.6. Tipos de biodigestores 28
2.2.7. Generación de biogás 30
2.2.8. Bacterias que participan en el proceso de fermentación 34
2.2.9. Etapa de la digestión anaeróbica porcentual 36
2.2.10. Gas metano 37
2.2.11. Condiciones del proceso anaeróbico 39
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 42
3.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN 42
3.2. UBICACIÓN, POBLACIÓN Y MUESTRA 43
3.2.1. Ubicación 43
3.2.2. Población 44
3.2.3. Muestra 44
3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS 45
3.3.1. Selección del lugar para la instalación de los biodigestores. 45
3.3.2. Instalación de biodigestores 45
3.3.3. Toma de muestra del efluente e inoculación de sustrato de rumen de vaca. 47

3.3.4. Evaluación de la demanda química de oxígeno 48
3.3.5. Evaluación de pH 50
3.3.6. Evaluación de la concentración de metano 51
3.3.7. Evaluación del tiempo de retención. 51
3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 53
3.4.1. Materiales 53
3.4.2. Herramienta y equipos 53
3.4.3. Accesorio de campo 53
3.4.4. Servicio tecnológico 54
3.4.5. Otros 54
3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 54
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS 56
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 58
4.1. Valor del pH del efluente de la planta extractora de aceite de palma en los biodigestores anaerobios 58
4.2. Determinar la cantidad removida de la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la planta extractora de aceite de palma 60
4.3. Determinar la eficiencia de los biodigestores en la concentración de metano (biogás) 62
4.4. Tiempo de retención 63
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65
5.1. CONCLUSIONES 65
5.2. RECOMENDACIONES 65
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 66
ANEXOS 70

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

En el texto:

Tabla 1. Expansión de cultivo de palma. 23
Tabla 2. Caracterización de efluentes de plantas extractora en Colombia. 24
Tabla 3. Resultados de monitoreo de residuos, en toneladas por hora. 25
Tabla 4. Monitoreo de aguas residuales en la planta extractora OLPASA. 26
Tabla 5. Bacterias que participan en el proceso de fermentación. 34
Tabla 6. Característica del metano. 38
Tabla 7. Comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor, de acuerdo con el valor del pH. 40
Tabla 8. Tiempo de retención. 41
Tabla 9. Dimensiones de la zanja. 46
Tabla 10. LMP para efluentes de PTAR. 49
Tabla 11. Diseño completamente al azar de la investigación. 54
Tabla 12. Comparación de medias para el pH en el arranque de los biodigestores. 58
Tabla 13. Resultado de los análisis de DQO de los efluentes de la planta extractora y los biodigestores 61
Tabla 14. Resultado de concentración de metano. 62

En el Anexo:

Tabla 15. Valores del pH interna durante el tiempo de retención hidráulica. 71
Tabla 16. Concentración de metano durante el tiempo de retención hidráulica. 75
Tabla 17. Valores del pH de la muestra con el pH metro digital portátil. 76
Tabla 18. Temperatura de la muestra con el pH metro digital portátil. 76
Tabla 19. Temperatura Interna promedio durante el tiempo de retención hidráulica. 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

En el texto:

Figura 1. Clasificación de los biodigestores anaeróbicos de acuerdo a su tecnología. 28
Figura 2. Modelos de biodigestores. a) Biodigestor continuo horizontal, b) Biodigestor semicontinuo hindú, c) Biodigestor discontinuo batch. 29
Figura 3. Esquema general e transformación bioquímicas durante el proceso digestión anaeróbica. 31
Figura 4. Etapas de la digestión anaerobia porcentual 36
Figura 5. Emisiones antropogénicas mundiales de metano. 37
Figura 6. Origen del metano....39
Figura 7. Mapa de ubicación de la empresa INDOLMASA. 44
Figura 8. Representación de dos cortes en una zanja genérica.....46
Figura 9. Incremento del potencial de hidrogeno. 59
Figura 10. Remoción de la demanda química de oxígeno. 61
Figura 11. Porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno por biodigestor....62
Figura 12. Concentración de metano 63
Figura 13. Tiempo de retención en la degradación de materia orgánica para la concentración de metano. 64

En el Anexo:

Figura 14. Análisis de DQO inicial del efluente de la planta extractora de aceite de palma. 72
Figura 15. Análisis del pH Inicial del efluente de la planta extractora de aceite de palma. 73
Figura 16. Análisis de DQO final de cada biodigestor del efluente de la planta extractora de aceite de palma.....74
Figura 17. Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros de metano y pH. 78
Figura 18. Sistema de recolección de datos a tiempo real. 79

Figura 19. Equipo de trabajo en reunión e inspección del biodigestor. 80
Figura 20. Señalización del lugar a excavar para instalar biodigestores.....80
Figura 21. Acondicionamiento y perfilado de zanjas. 81
Figura 22. Instalación de biodigestores. 81
Figura 23. Preparación de dilución de cal para incorporar al tanque de homogenización del efluente. 82
Figura 24. Llenado del rumen de vaca en cilindros. 82
Figura 25. Agregando al segundo biodigestor 0,1 m^3 de rumen de vaca. 83
Figura 26. Sensor MQ-2, MQ-13, sensor temperatura y sensor pH. 83
Figura 27. Revisión del sistema arduino. 84
Figura 28. Revisión de los biodigestores. 84
Figura 29. Toma de muestra del primer biodigestor para análisis de pH. 85
Figura 30. Determinación del valor de pH en los biodigestores. 85
Figura 31. Determinación del valor de pH en la poza de almacenamiento del efluente de la planta extractora de aceite de palma. 86
Figura 32. Rotulación de frasco con efluente de la planta extractora de aceite de palma INDOLMASA para el análisis respectivo en el Laboratorio Natura S.A.C. 86
Figura 33. Determinación de la temperatura en los biodigestores. 87
Figura 34. Toma de muestra del efluente del primer biodigestor, para análisis de DQO. 87
Figura 35. Muestra de efluente del primer biodigestor. 88
Figura 36. Toma de muestra del efluente del segundo biodigestor, para análisis de DQO. 88
Figura 37. Rotulación de los frascos con efluente de cada biodigestor para el análisis respectivo en el Laboratorio Natura Analítica S.A.C. 89
Figura 38. Equipo ganador NEGASUS E.I.R.L. 89

RESUMEN

La Investigación se realizó en las instalaciones de la empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A., ubicado en el Km 62 de la carretera federico basadre, del distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, iniciándose en el mes de enero de 2017 y finalizando en el mes de febrero de 2018; cuyo objetivo fue evaluar el efecto de dos biodigestores anaerobios en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma, “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.”. La población estuvo conformada por 40 m^3 por jornada de trabajo de efluente que produce la planta extractora de aceite de palma y la muestra fueron 14,9 m^3 de efluente cargado en total a los biodigestores. La metodología aplicada fue de tipo experimental, se instalaron dos biodigestores anaeróbicos con una capacidad de 10 m^3 con dos tratamientos diferentes: el primer tratamiento con 7,5 m^3 de efluente y el segundo tratamiento con 7,4 m^3 de efluente y 0,1 m^3 de rumen de vaca. Así mismo, los biodigestores en el interior se instalaron una aplicación innovadora de sensores especializados (sensor de metano MQ-2 y sensor de pH), análisis de inicio y final de la demanda química oxígeno en Laboratorio Natura Analítica S.A. y cálculo del tiempo de retención. Los resultados señalan que el segundo biodigestor es el que tuvo mejor efecto en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma. Este tratamiento fue el más eficaz con una remoción de 94,88% de la demanda química de oxígeno, con máxima concentración de metano a 908,38 ppm al día 13, incrementado de 4,45 a 7,98 valor de media del potencial de hidrogeno, teniendo como 13 días el tiempo de retención en la degradación de materia orgánica y 30 días el tiempo de retención hidráulica del biodigestor. A comparación del primer biodigestor, con remoción de 75,29% de la demanda química de oxígeno, con máxima concentración de metano a 749,31 ppm al día 13, incrementado de 4,45 a 8,08 valor de media del potencial de hidrogeno, teniendo como 13 días el tiempo de retención en la degradación de materia orgánica y 30 días el tiempo de retención hidráulica del biodigestor.

Palabras Claves: biodigestores anaeróbicos, metano, demanda química de oxígeno, potencial de hidrogeno y tiempo de retención.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the facilities of the company Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A., located at Km 62 of the federico basadre highway, district of Neshuya, province of Padre Abad, beginning in january 2017 and ending in february 2018; whose objective was to evaluate the effect of two anaerobic biodigesters in the variation of the organic load of the effluent of the oil palm extracting plant, "Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.". The population consisted of 40 m^3 per working day of effluent produced by the palm oil extraction plant and the sample was 14,9 m^3 of effluent loaded in total to the biodigesters. The applied methodology is of experimental type, two anaerobic biodigesters with a capacity of 10 m^3 were installed with two different treatments: the first treatment with 7,5 m^3 of effluent and the second treatment with 7,4 m^3 of effluent and 0,1 m^3 of cow rumen. Thus same, the biodigesters in the interior were installed an innovative application of specialized sensors (MQ-2 methane sensor and pH sensor), analysis of the beginning and end of the chemical oxygen demand in Laboratorio Natura Análitica S.A. and calculation of retention time. The results indicate that the second biodigester is the one that had the best effect in the variation of the organic load of the effluent from the palm oil extraction plant. This treatment was the most effective with a 94,88% removal of the chemical oxygen demand, with a maximum concentration of methane at 908,38 ppm at day 13, increase from 4,45 to 7,98 average value of hydrogen potential, having 13 days as time of retention in the degradation of organic matter and 30 days the hydraulic retention time of the biodigester. Compared to the first biodigester, with 75,29% removal of the chemical oxygen demand, with a maximum concentration of methane at 749,31 ppm at day 13, increased from 4,45 to 8,08 average value of hydrogen potential, having 13 days as the retention in the degradation of organic matter and 30 days the hydraulic retention time of the biodigester.

Keywords: anaerobic biodigesters, methane, chemical oxygen demand, hydrogen potential and retention time.

INTRODUCCIÓN

El efluente de las plantas extractoras de aceite de palma normalmente son vertidos a las quebradas, caños y ríos ocasionando la contaminación de las aguas superficiales (debido al vertimiento) y aguas subterráneas (debido a la infiltración); en el mejor de los casos, depositados en lagunas de retención construidos de manera artesanal y sin protección de geomenbrana. Asimismo, aportando a la atmosfera con gases de efecto invernadero como el CH_4, CO_2 y otros gases, siendo actualmente un problema ambiental para estas empresas.

El propósito de esta investigación es brindar una alternativa de solución al efluente de la planta extractora de aceite de palma. Incrementando el pH, remoción de la DQO, concentración de CH_4 y tiempo de retención mediante el uso de los biodigestores anaeróbicos, de esta manera ayudaremos a minimizar la contaminación generada por el efluente de la planta extracción de aceite de palma.

Teniendo como Objetivo General en la Investigación: Evaluar el efecto de dos biodigestores anaerobios en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma, “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.” – INDOLMASA. Y Objetivos Específicos son: Conocer el pH del efluente de la planta extractora de aceite de palma, a la salida de los biodigestores anaerobios; determinar la cantidad removida de la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la planta extractora de aceite de palma de la empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. – INDOLMASA, mediante el uso de biodigestores; determinar la eficiencia de los biodigestores en la concentración de metano (biogás) generado a partir del efluente de la planta extractora de

aceite de palma INDOLMASA y determinar el tiempo de retención de la materia orgánica dentro de los biodigestores para alcanzar la máxima degradación.

Por consiguiente, esta investigación entrega como principal resultado: el efecto de dos biodigestores con dos tipos de tratamiento en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma en el distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, región Ucayali.

La presente Investigación forma parte del proyecto de Investigación titulado “Generación de energía eléctrica y producción de bioabono a partir de lodos de la planta extractora de aceite de palma, distrito de Neshuya, provincia de Coronel Portillo, Ucayali” financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (INNÓVATE-Perú) del Ministerio de la Producción y ejecutado por la empresa Negocios Amazónicos Sustentables E.I.R.L. (NEGASUS). Asimismo fue cofinanciando a través del Fondo de Desarrollo Socioeconómico del Proyecto de Camisea- FOCAM que contribuyo a ejecutar gastos administrativos del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La biomasa generada por las plantas extractoras de aceite, contribuyen a los Gases de Efecto Invernadero. Sin embargo, pueden ser aprovechadas para generar biogás mediante procesos de fermentación anaeróbico, de tal manera que se propicia la generación de energía limpia (Conil, 1989).

Desde décadas de 1970 en Malasia se viene dando el manejo de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, utilizando los subproductos (biogás, biol y biosol) esto se puede emplear gracias al contenido en materia orgánica con alto contenido de nutrientes y minerales, obtenido mediante el proceso anaeróbico, además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Estos efluentes antes eran vertidos a cuerpos de agua, ocasionando el agotamiento de oxígeno, reduciendo la vida de las especies acuáticas, esta problemática fue aumentando y amenazando los ecosistemas acuáticos.

Teniendo en cuenta que los efluentes generados por las plantas extractoras de aceite de palma "representan un grave problema de contaminación por el alto contenido de sustancias orgánicas que presentan, ya que las concentraciones de DQO son del orden de 60000 mg/l, la DBO de 30 000 mg/l y SS 25 000 ppm, ricos en potasio" (Díaz y Vega, 2013), y está identificado que una planta extractora de aceite de palma que procesa 20 toneladas de RFF/h puede contaminar una ciudad de 200 000 habitantes aproximadamente (Brugés *et al.*, 2000).

En la actualidad Colombia continua siendo el quinto productor de aceite con la fruta de la palma aceitera, tiene varias plantas extractoras de aceite de palma que vienen realizando tratamiento de sus efluentes desde hace aproximadamente 25 años y de diferentes tipos. Los biodigestores anaeróbicos son de geomembrana que sirven como fuente de tratamiento para los efluentes, donde se realiza la fermentación biologica, cuyos efluentes son tratados en un medio anaeróbico y neutro. Así mismo uno de los productos de degradación orgánica es el biogás compuesto principalmente por un 60% - 70% de metano (CH_4), 30% - 40% de dióxido de carbono (CO_2) y alrededor de 2000 ppm de ácido sulfhídrico (H_2S). Por su alto poder calorífico (5 500 Kcal/m^3) es utilizado como combustible (Brugés *et al.*, 2000).

En la Región de Ucayali existe en promedio como 7 plantas extractoras de aceite de palma. Así mismo, el principal problema radica en los efluentes generados en grandes volúmenes durante el proceso de extracción de aceite de palma. Sin contar con ningún tipo de tratamiento para su minimización, al contrario se convierten en residuos contaminantes del agua, suelo y aire (Miranda, 2014).

La planta de extracción de aceite de palma INDOLMASA, genera 40 m^3 de efluente por 8 horas de jornada de trabajo y estos son depositados en lagunas de retención construidas artesanalmente sin geomenbrana, ocasionando un impacto negativo a la atmosfera por la generación de Gases de Efecto Invernadero, a las aguas subterráneas por infiltración y a las aguas superficiales por vertimiento (Panduro, 2017).

El metano es un fuerte Gas de Efecto Invernadero y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. El

metano es 21 veces más contaminante que el Dióxido de Carbono (CO_2). La fuente más importante de metano es la descomposición de materia orgánica (GHC, 2010).

1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema General

- ¿Cuál es el efecto de dos biodigestores anaerobios en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma, “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.” – INDOLMASA?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el pH del efluente de la planta extractora de aceite de palma, a la salida de los biodigestores anaerobios?

- ¿Cuánto es la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la planta extractora de aceite de palma de la empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. – INDOLMASA, mediante el uso de biodigestores?

- ¿Cuál es la eficiencia de los biodigestores en la concentración de metano (biogás) generado a partir del efluente de la planta extractora de aceite de palma INDOLMASA?

- ¿Cuál es el tiempo de retención de la materia orgánica dentro de los biodigestores para alcanzar la degradación?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Según (Petitpierre, 1983), el gran problema de contaminación causadas por las plantas de extracción de aceite de palma en Malasia, fue el cauce de la implementación de tecnología de biodigestor para contribuir a la descontaminación.

Según (Conil, 1989), en cuanto a biodigestores para efluente de plantas extractoras de aceite de palma no hay mucho más en el Mundo: unos estudios de laboratorio en Bélgica, algunas plantas diseminadas en África (Nigeria), en Asia y en Colombia. Y es bien raro que no haya más información. Raro porque la biodigestión es una tecnología que desde 1973 a nuestros días se ha desarrollado de manera impresionante en el Mundo entero; pasó en pocos años del sueño a la realidad. Raro también porque el efluente de las plantas extractoras de aceite de palma es una materia prima excelente para los biodigestores, de las mejores que se conozcan.

Según (Conil, 1989), Palmeras del Llano (Acacias, Meta), procesa diariamente 70 toneladas de RFF de palma y produce 45 m^3 de efluente de planta extractora de aceite de palma. Estos efluentes anteriormente se vertían al río.

Según (Conil, 1989), en 1987 se empezó la construcción de unos enormes biodigestores para el procesamiento de los efluentes. Se trató de 3 unidades de 250 m^3 de volumen de fermentación cada una. Representan la

mayor planta de biogás de Colombia y quizás de América del Sur con una inversión que ha sido inferior a $30 000 000 (1987), a partir de febrero de 1988 los biodigestores empezaron a producir el combustible para la planta eléctrica y a generar así la energía requerida por la fábrica, y a aportar el fertilizante orgánico para parte de la plantación; de esta manera se solucionó el problema de la contaminación de las aguas, aire y suelo.

Según (Kervyn, 2009), el país con el mayor número de plantas de biogás con un MDL en operación de plantas extractoras de aceite de palma, hoy en día es Honduras. BIOTEC ha construido y operando la planta extractora de la Cooperativa (HONDUPALMA) con una generación de 240 000 T/año de efluente y como también ha construido una segunda planta de biogás para (ECOPALSA), que es reconocida por su crecimiento de planta extractora en Centroamérica (PALCASA) que alimenta (ECOPALSA) en efluentes.

Según (Merced, 2012), en un biodigestor anaeróbico de tipo continuo ha realizado evaluaciones de parámetros, agregando estiércol de vaca y agua. El experimento se realizó mediante tres corridas. La dilución de la materia orgánica en la primera y segunda corrida fue de 2:1 y en la tercera 3:1. Los valores del pH entre (7,06 – 7,22), la temperatura del biodigestor durante el experimento entre (21 °C – 40 °C), y la concentración de la DQO en (290 ppm). Estos resultados indican que el experimento estuvo dentro de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metanogénicas. Al mismo tiempo se determinó que la radiación solar y la temperatura del medio ambiente no influyen en las condiciones de operación del biodigestor.

Según la (UNFCC, 2013), en la Región de San Martin, provincia de

tocache, distrito de Uchiza, en Palmawasi se ubica las Palmas del espino, donde se ejecutó el proyecto de la Convención Marco de las Naciones unidas sobre el cambio climático, desde el mes de setiembre del 2007 se viene sustituyendo el combustible fósil por una fuente de energía renovable que es obtenido a partir de 19 m^3 de biogás por RFF, con un % de metano que varía entre 60% a 65%, disminuyendo por año un promedio de 41 000 toneladas de emisiones de dióxido de carbono.

Según (Cerda, 2013), en la UE existen tres canales principales de producción de biogás y son los siguientes: desgasificación de vertederos representando un 26,8% de producción en 2010, plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes industriales con 9,8% y otras plantas diseñadas expresamente para conversión energética a través de mecanización con 63,4%. El país de Alemania ha estado enfocado en promover el desarrollo de plantas de tratamiento de residuos agroindustriales y cultivos energéticos, a comparación de Reino Unido que se ha enfocado en la producción de biogás a partir de la desgasificación de vertederos.

Según (Baten, 2013), en la municipalidad de Fraijanes, en Tecun Uman se encuentra ubicada una planta extractora de aceite de palma donde se desarrolló el presente proyecto mediante la implementación de un biodigestor, actualmente se vienen aprovechando el biogás en las plantaciones aledañas de banano para generar electricidad con motores eléctricos en sustitución de motores diésel de las bombas de riego.

Según (Garzón, 2015), ha realizado un experimento con respecto a la obtención de gas metano a partir del efluente de la planta extractora de

aceite de palma y acetato como sustratos en biodigestores pilotos, sus resultados indican que el porcentaje más alto de remoción fue 89,2% de la DQO, la mayor tasa de generación fue 83,14 mL d-1 de metano y con una carga orgánica de 0,28 g DQO L-1 d-1.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA

2.2.1. Palma aceitera en el perú

A nivel Mundial así mismo en el Perú los cultivos de palma aceitera están en expansión. El plan nacional de promoción de la palma aceitera Perú en el periodo 2000-2010 se publicó en el año 2001 (MINAGRI, 2001) y precedente a esta publicación se presentó la situación del cultivo como línea base en julio del 2000, indicando un total acumulado con 14,667 de hectáreas sembradas en el presente año. La oficina de estudios económicos y estadísticos del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), estiman 35,379 hectáreas de palma durante el año 2008, se alcanzó 44 396 hectáreas de palma para el año 2010 y en este momento se están estimando 50 000 hectáreas de palma existente en el Perú, (MINAGRI).

Tabla 1. Expansión de cultivo de palma.

DEPARTAMENTO	2008	2009	2010
Huánuco	121	367	668
Loreto	2934	4898	6700
San Martin	24839	26574	27225
Ucayali	7485	9791	9804
TOTAL	35379	41630	44397

Fuente: Oficina de estudios económicos y estadísticos del MINAGRI.

2.2.2. Estudio de los efluentes de plantas extractoras

Las plantas extractoras de aceite de palma generan efluentes, tienen características muy relevantes como: alto contenido de carga orgánica principalmente en la DQO, bajo valor de pH y altas temperaturas. Los Tanques florentinos cumplen un papel importante en el proceso como trampa de grasa permitiendo recuperar los aceites del efluente, asimismo estos aceites del efluente dificultan la remoción de la carga orgánica. En la actualidad la remoción debe tener un 80% de la DQO como mínimo para proceder a verter estos efluentes a un cuerpo receptor, indican la ley colombiana, (Avendaño y Martinez, 2015).

Tabla 2. 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	18700–175521	48873
DQO	mg / l	45256–232000	79730
Sólidos totales (ST)	mg/ l	32482–111029	45670
Sólidos suspendidos (S. SED)	ml/ h	19129 – 88258	35105
Sólidos sedimentables (S. SED)	mg/ l	125 – 1000	677
Sólidos totales Volátiles (STV)	mg/l	26530 – 98445	48988
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	6489 – 80701	18747
Acidez total	mg/l	750 – 2548	1611

Fuente: (Duarte, 2006)

2.2.3. Monitoreo del estudio del proceso en la planta extractora de OLPASA – Ucayali

La empresa OLPASA mediante el monitoreo de tres días, en el proceso de sus residuos en una jornada de trabajo de ocho horas. Los resultados se indican en relación a toneladas por hora. Asimismo, podemos identificar los valores del monitoreo al inicio y final del experimento como se muestra a continuación:

Tabla 3. Resultados de monitoreo de residuos, en toneladas por hora.

Proceso	Residuo	Cantidad / 8h	Cantidad / 1h	Unidad
Desfrutado	Escobajo	13 648	1 706	TN
Palmisteria	Cascarilla + Nuez	0, 814	0, 102	TN
Palmisteria	Nuez grande	0, 273	0, 034	TN
Desfibrado	Fibra	7, 381	0, 923	TN
Palmisteria	Cascarilla	1, 621	0, 203	TN
Florentino	Efluente	68, 632	8, 579	m^3

Fuente: (OLPASA, 2013)

Tabla 4. Monitoreo de aguas residuales en la planta extractora OLPASA.

Parámetros	Aguas Residuales		ECASpara agua D.S. 002-2008-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/lt).	115,3	24,5	AUSENCIA	20	50
Std s 180 °C (mg/lt)	3 050	3 000	500	100	130
DBO_5 (5días a 20 °C) (mg/lt).	12 390	5 060	<10	<60	---
DQO (mg/lt).	51 643	19 793	---	---	290

Fuente: (OLPASA, 2013)

2.2.4. Biodigestor

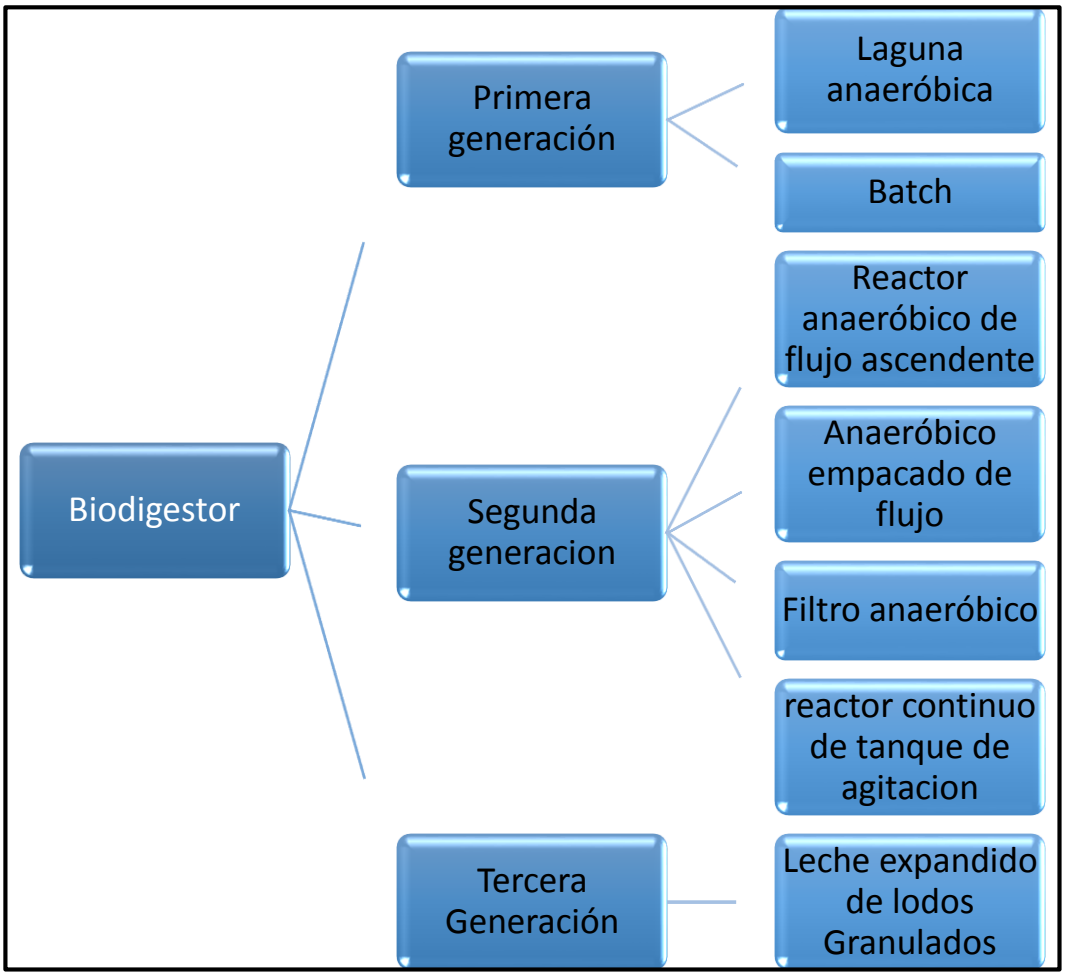
El biodigestor es una alternativa sencilla y práctica que sirve para aprovechar los residuos orgánicos que se producen en las fincas y otras actividades. Este proceso permite convertir el estiércol de los animales y algunos rastrojos de cosechas en gas metano para cocinar y en abonos para cultivos, contribuyendo en la economía familiar, al bajar los costos de producción mejorando el ambiente. Existen diferentes tipos de biodigestores y varían según los desechos a tratar, condiciones del terreno, entre otros. Nuestro biodigestor anaeróbico está formado de 5 partes (Dagoberto, 2005):

- **Pila de carga:** Es una pileta pequeña donde se deposita y se mezclan los materiales que alimentan el tanque digestor. Debe estar a mayor altura que el nivel de carga del digestor (tanque totalmente lleno).

- **El digestor:** Es un tanque alargado excavado en la tierra, dentro de él los desechos son descompuestos. Por un extremo se conecta el tubo de pila de carga y por el otro la pila de descarga.
- **Pila de descarga:** Sirve para retirar los residuos provenientes del tanque que fueron digeridos. Está conectado a menor nivel que la pileta de carga.
- **Cubierta plástica:** Se coloca sobre el tanque digestor, cierra la entrada de aire al interior de mismo y almacena el gas producido.
- **Tubería, válvula y llave de paso:** Se conecta una tubería en la parte superior de la cubierta plástica que conduce el gas donde será aprovechado; además, se conecta una sencilla válvula de seguridad que evita la sobre presión interna en la cubierta plástica y elimina el agua condensada en la tubería. También es importante una llave que permita el paso del gas cuando se necesita.

2.2.5. Clasificación de biodigestores

Existen diferentes criterios al clasificar los biodigestores anaerobios, principalmente por tecnología y al tipo de proceso que se requiera. Para la tecnología se tiene la siguiente clasificación: primera, segunda y tercera generación. La primera generación se caracteriza por la suspensión de la biomasa durante el proceso, en el caso de la segunda generación se caracteriza por retener los microorganismos en el reactor o por las propiedades de sedimentación y finalmente la tercera generación tiene la característica de formar biopeliculas en los microorganismos a consecuencia de altas velocidad de flujo se estima que el soporte se expande (Jimenez, 2005).



Fuente: (Jimenez, 2005).

Figura 1. Clasificación de los biodigestores anaeróbicos de acuerdo a su tecnología.

2.2.6. Tipos de biodigestores

Según (Schlaefli, 2010), indica la siguiente clasificación respecto al periodo de alimentación:

- **Sistema discontinuo:**

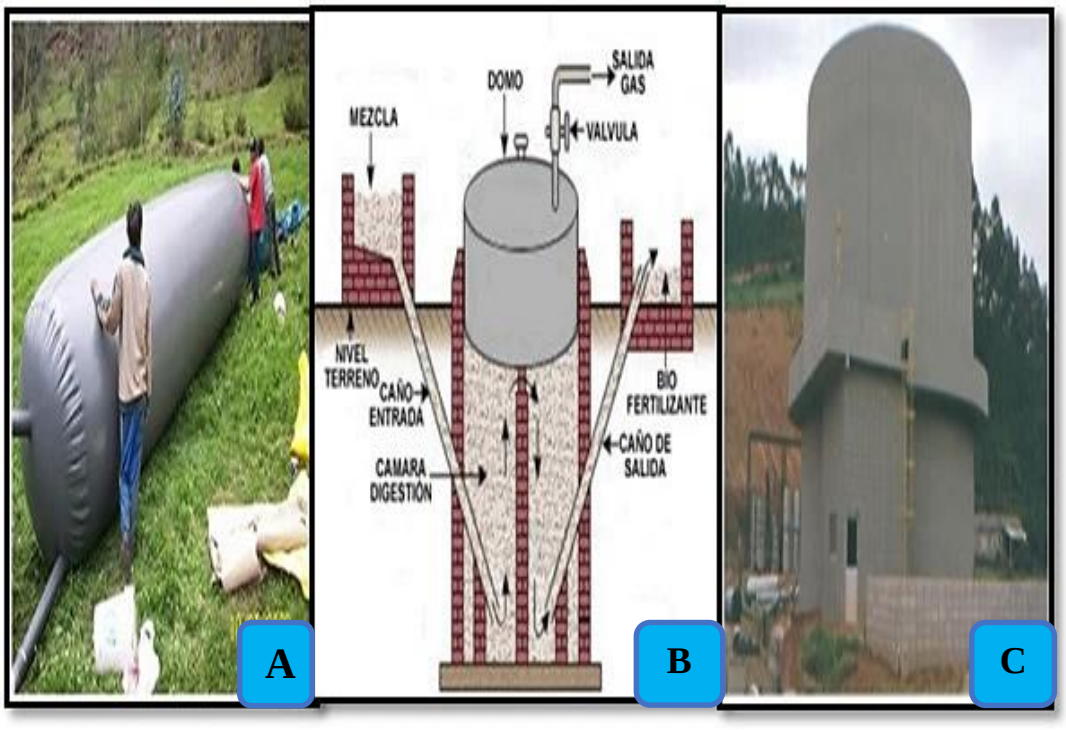
  Identificados como de carga debido a que solo de una vez se carga de forma total el sistema y posteriormente a unos 20 a 50 días se cierra herméticamente, al culminar el proceso de producción de biogás finalmente se descarga. El modelo mejor identificado de este sistema es el tipo Batch.

- **Sistema semicontinuo:**

  La escala para este sistema son pequeños o mediana, normalmente se utilizan en zonas urbano o rural debido la buena eficiencia de producción de biogás diaria. Los modelos que mejor destacan en este sistema son del tipo hindú, tipo chino y del tipo manga de polietileno de menor costo.

- **Sistema continuo:**

  La escala para estos sistemas sofisticados es grande debido al empleo de equipos comerciales para alimentarlo en un flujo constante de biomasa en su interior, darles calefacción, agitación y control. El modelo mejor identificado para este sistema es el tipo Biodigestor anaeróbico continuo horizontal.



Fuente: (Antonio, 1996).

Figura 2. Modelos de biodigestores. a) Biodigestor continuo horizontal, b) Biodigestor semicontinuo hindú, c) Biodigestor discontinuo batch.

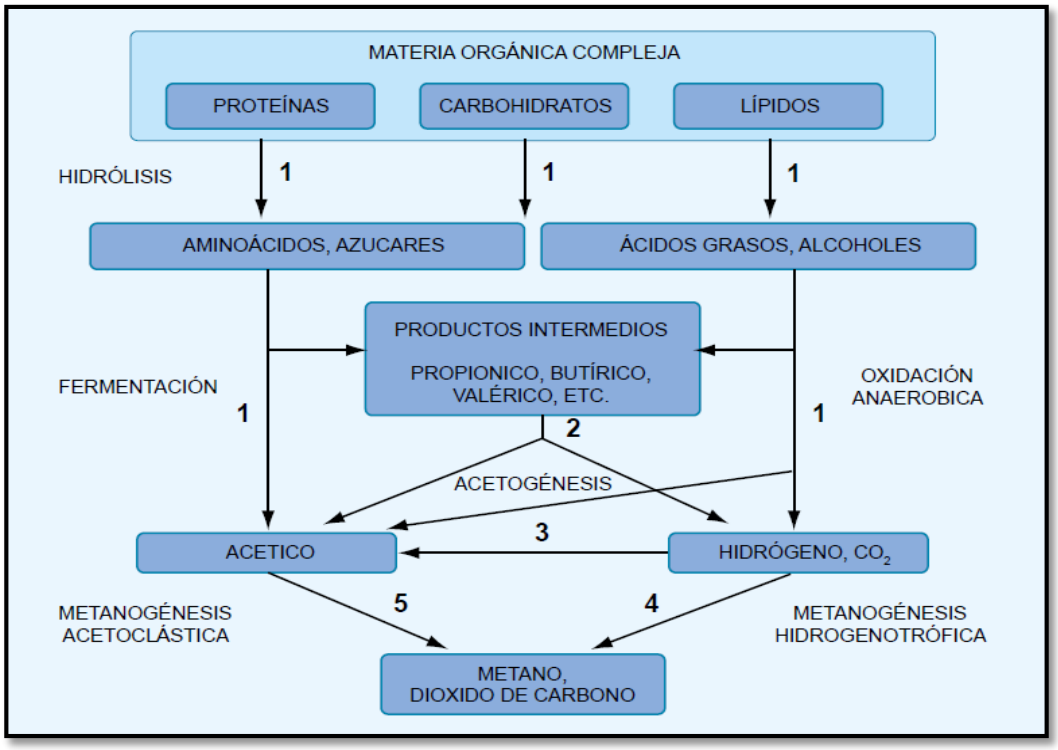
2.2.7. Generación de biogás

El proceso de digestión anaeróbica es muy complejo debido al número de reacciones bioquímicas e involucra a cierta cantidad de microorganismos. Por consiguiente, varias de las reacciones suceden de manera simultánea. Estudios realizados hasta el momento en reacciones bioquímicas y microbiológicas, este proceso de descomposición anaeróbicas de la materia orgánica se divide en cuatro fases o etapas:

2.2.7.1. Hidrolisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por lo tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.



Fuente: (Cendales, 2014).

Figura 3. Esquema general de transformación bioquímicas durante el proceso digestión anaeróbica.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos.

Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

2.2.7.2. Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

2.2.7.3. Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos.

Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H_2/CO_2) produciendo como único producto

acetato. Estas bacterias no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum.*

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

2.2.7.4. Etapa metanogénica

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores.

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2, formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas.

Los dos géneros que tienen especies *acetotróficas* son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior.

2.2.8. Bacterias que participan en el proceso de fermentación

Tabla 5. Bacterias que participan en el proceso de fermentación.

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 CO_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. desmolans*** ***E. callandrei*** ***E. limosum***	El género Eubacterium consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – negativas.	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 especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto, son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Fuente: (Insam, 2009).

2.2.8.1. Bacterias que participan de la hidrolisis

Los responsables de la hidrolisis son microorganismos de varios géneros. Entre estos destacan: *Bacteroides, Bifidobacterium, Lactobacillus, Megasphaera, Propioni - bacterium, Sphingomonas, Sporobacterium.*

2.2.8.2. Bacterias que participan de la acidogenesis

Los microorganismos acidogénicos en su gran mayoría se involucran en la hidrólisis. El género *Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus,* predominan mayormente en la fase acidogenica pero están presentes en todas las fases del proceso de fermentación en menores proporciones. El grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* en las dos primeras fases de descomposición, constituye el segundo grupo más grande de microorganismos. Así mismo, representan menos del 5% del total de microorganismos en la fase metanogénica. Esto significa que los grupos presentados son los responsable de la degradación de compuestos monoméricos.

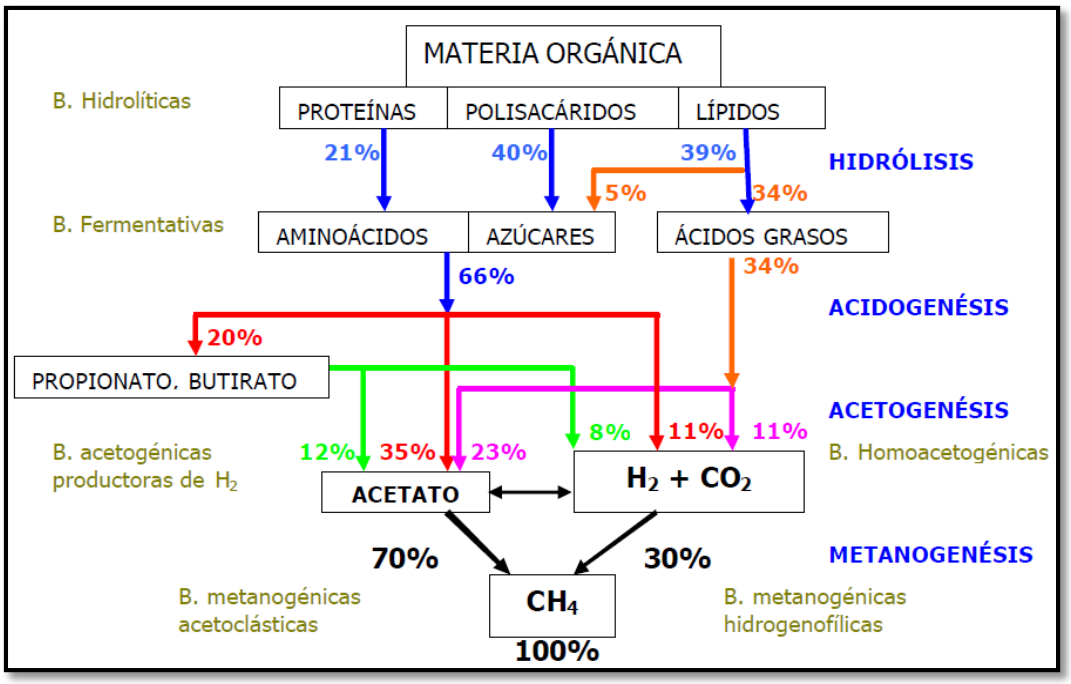
2.2.8.3. Bacterias que participan de la acetogénesis

Las bacterias acetogénicos normalmente tienen un periodo de hasta 84 horas de regeneración. Estas bacterias exclusivamente pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Las bacterias acetogénicas son reductoras de sulfato con gran capacidad de degradar etanol y lactato, con una característica hacia los ácidos grasos y compuestos aromáticos que no son capaces de degradar.

2.2.8.4. Bacterias que participan de la metanogénesis

Se caracteriza por ser detectado mediante microscopio óptico por su autofluorescencia. Las metanogénicas activas también se presentan en la fase acidogenica durante la fermentación. No obstante, las Arqueas metanogénicas aumentan en número durante la fase metanogénica. Las especies principales identificadas son: *Methanobacterium, Methanospirillum hungatii* , y *Methanosarcina*.

2.2.9. Etapa de la digestión anaeróbica porcentual



Fuente: (Madigan y Mertinko, 1997).

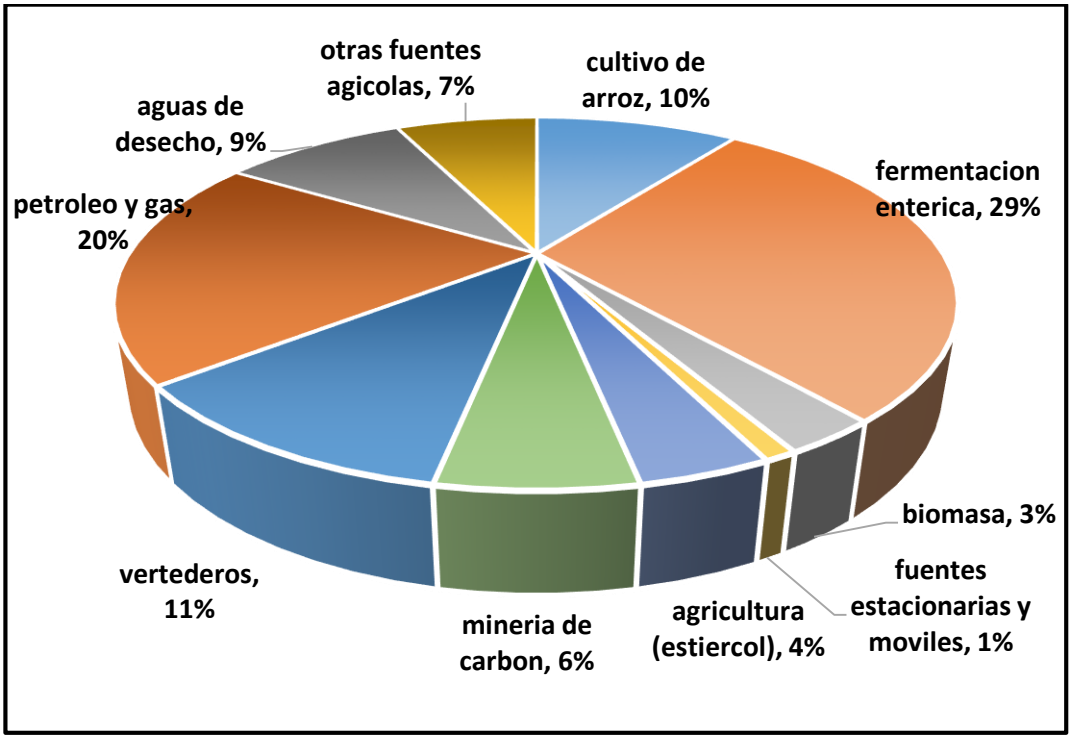
Figura 4. Etapas de la digestión anaerobia porcentual.

Según la figura 4 se observar que solamente cerca del 30% de la materia orgánica del afluente es convertida a metano por la vía hidrogenofílica, por lo tanto, una condición necesaria para obtener una óptima remoción de la materia orgánica en un sistema anaerobio, la metanogénesis acetoclástica hace que se desarrolle eficientemente.

2.2.10. Gas metano

El metano es un potente y abundante Gas de Efecto Invernadero, por consiguiente es un principal contribuyente al cambio climático, especialmente a corto plazo (es decir, 10 - 15 años). Durante la descomposición de residuos orgánicos se emite el gas metano.

El segundo lugar de Gases de Infecto Invernadero más abundante lo ocupa el gas metano después del dióxido de carbono, que es responsable del 14 por ciento de las emisiones a nivel mundial. El metano aunque es emitido a la atmósfera en cantidades más pequeñas que el dióxido de carbono, 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, estas emisiones contribuyen en más de un tercio del calentamiento antropogénico debido al gas metano (GHC, 2010).



Fuente: Global Methane Iniciative.

Figura 5. Emisiones antropogénicas mundiales de metano.

2.2.10.1. Formas de producción del gas metano

Según (CASIUPA, 2016), los orígenes principales de metano son:

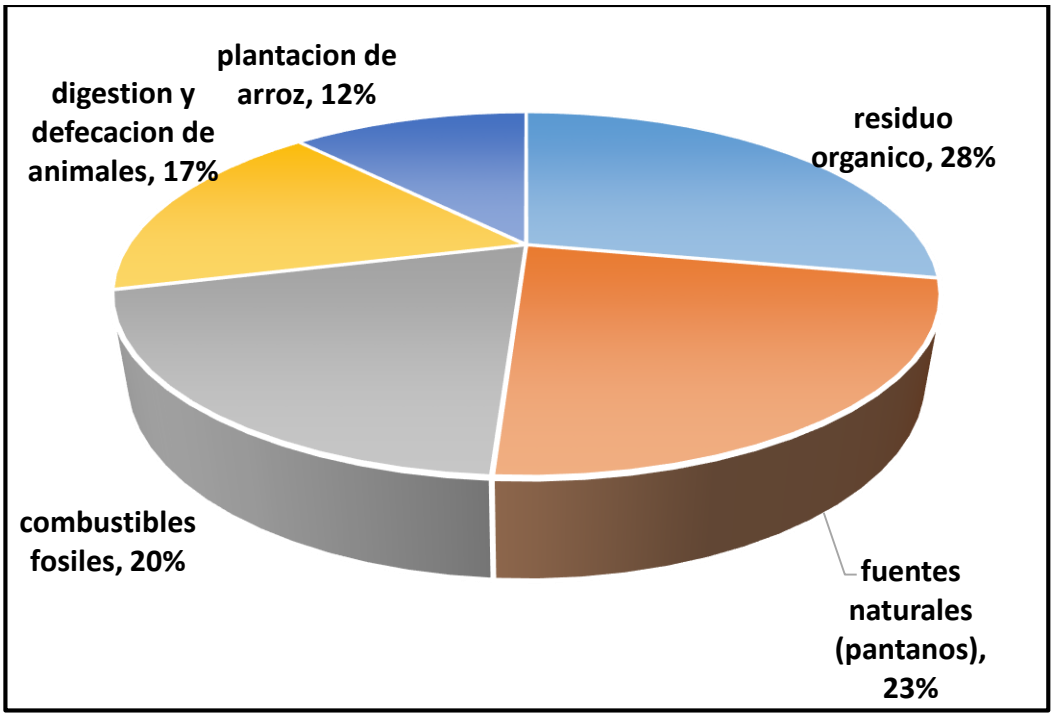
- Descomposición de los residuos orgánico por bacterias: 28%.
- Fuentes naturales (pantanos): 23%.
- Extracción de combustibles fósiles: 20% (el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales: 17%.
- 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 ppm 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.

Tabla 6. 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: (Perez, 2010).



Fuente: Metano como fuente alternativa energética.

Figura 6. Origen del metano.

2.2.11. Condiciones del proceso anaeróbico

Estas son las principales condiciones del proceso anaeróbico que se deben considerar:

- **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, 2006).

  Está en función de la concentración de CO_2 en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima (GTZ-CVC-OEKOTOP, 1987). Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios

en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7,2) (GTZ-CVC-OEKOTOP, 1987).

El pH del efluente de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas, y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación dentro del digestor, para la producción de biogás, como es mostrado en la tabla 7 (GTZ-CVC-OEKOTOP, 1987).

Tabla 7. Comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor de acuerdo con el valor del pH.

Valor pH	Características
7 – 7,2	Optimo
Menor de 6,2	Retardo por acidez
Mayor a 7,6	Retardo por amonios

Fuente: (GTZ-CVC-OEKOTOP, 1987)

- **Temperatura:**

Se habían definido tres ambientes anaeróbicos, en función de la temperatura. Un adecuado funcionamiento del biodigestor para cada ambiente, recomienda los siguientes rangos de temperatura: 0 ºC – 20 ºC, para el ambiente psicrofílico; 20 ºC – 45 ºC, para el ambiente mesofílico; y 45 ºC – 97 ºC, para el ambiente termofílico (Alcayaga y Guerrero, 1999). Las bacterias que crecen en cada uno de estos ambientes son organismos diferentes (Vargas, 2006). (Guevara, 1996), sugieren controlar la temperatura, para aumentar la eficiencia, usando serpentine de agua caliente dentro del digestor, con el objetivo de aumentar la temperatura del efluente.

- **Tiempo de retención:**

El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 30 ºC, el tiempo de retención (Tr) debería ser de 20 días; sin embargo, algunos autores han sugerido para cada ambiente los respectivos tiempos de retención, que comúnmente se presentan en biodigestores, como se muestra en la tabla 8 (Olaya, 2006), debido a la variación de la temperatura, la cual es difícil de controlar. Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección.

Tabla 8. Tiempo de retención.

Ambiente	Tiempo de retención (días)
Psicrofílico	>40
Mesofílico	10 – 40
Termofílico	<10

Fuente: (Olaya, 2006)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio de investigación fue de tipo experimental, donde se evaluó el efecto de dos biodigestores anaerobios en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma, que consistió en instalar dos biodigestores de geomembrana con una capacidad de 10 m^3 con dos tipos de tratamientos: el primer tratamiento con 7,5 m^3 de efluente y el segundo tratamiento con 7,4 m^3 de efluente y 0,1 m^3 de rumen de vaca (el rumen de vaca funciona como un catalizador para acelerar el proceso de producción de metano).

Los biodigestores en su interior se instalaron una innovadora aplicación de sensores especializados (MQ-2, Sensor pH y Sensor temperatura) para monitorear la concentración de metano, valor de pH y temperatura. La cual estuvo conectada al Sistema de recolección de Datos a Tiempo Real y se puede observar en la figura 18, permitiendo realizar la evaluación diaria de datos promedios de 60 min de registro cada 3 horas.

Como también se realizaron mediciones referenciales de pH y Temperatura; una muestra del efluente de la laguna de retención y tres muestras de efluente en cada biodigestor con un pH metro digital portátil (calibrados en el laboratorio de calidad de INDOLMASA) como se puede observar en la tabla 17 y 18.

Se tomaron una muestra del efluente de la planta extractora de aceite

de palma al inicio del experimento y dos muestras del efluente de los biodigestores al final del experimento, para ser analizadas en el Laboratorio Natura Analítica S.A. Como también, se determinó la remoción en % de la DQO mediante la regla de tres simples directo con los resultados obtenidos de los análisis.

Se determinó mediante la fórmula de tiempo de retención: $Tr = V_1$ (m^3) / V (m^3/dia), se reemplazaron los datos para obtener la cantidad de días referente al tiempo de retención hidráulica del biodigestor. Así mismo, se determinó el Tiempo de Retención en la degradación de materia orgánica mediante los resultados obtenidos de los sensores especiales (MQ-2, sensor de pH) durante el desarrollo del experimento.

Los experimentos se realizaron del 10 de enero al 09 de febrero de 2018. Estos experimentos permitieron determinar cuál de estos dos tipos de tratamientos es mejor en cuanto a la variación de la carga orgánica del efluente y hacer una diferenciación con respecto al efecto de los biodigestores.

3.2. UBICACIÓN, POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en la planta extractora de aceite de palma “Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.”, ubicada en el distrito de Neshuya, en el km 62 de la Carretera Federico Basadre con coordenadas UTM: 502813 ESTE y 9043943,5 NORTE, con altitud de 206 msnm, temperatura de 25 °C, precipitación anual de 113 mm y humedad relativa anual de 87%.

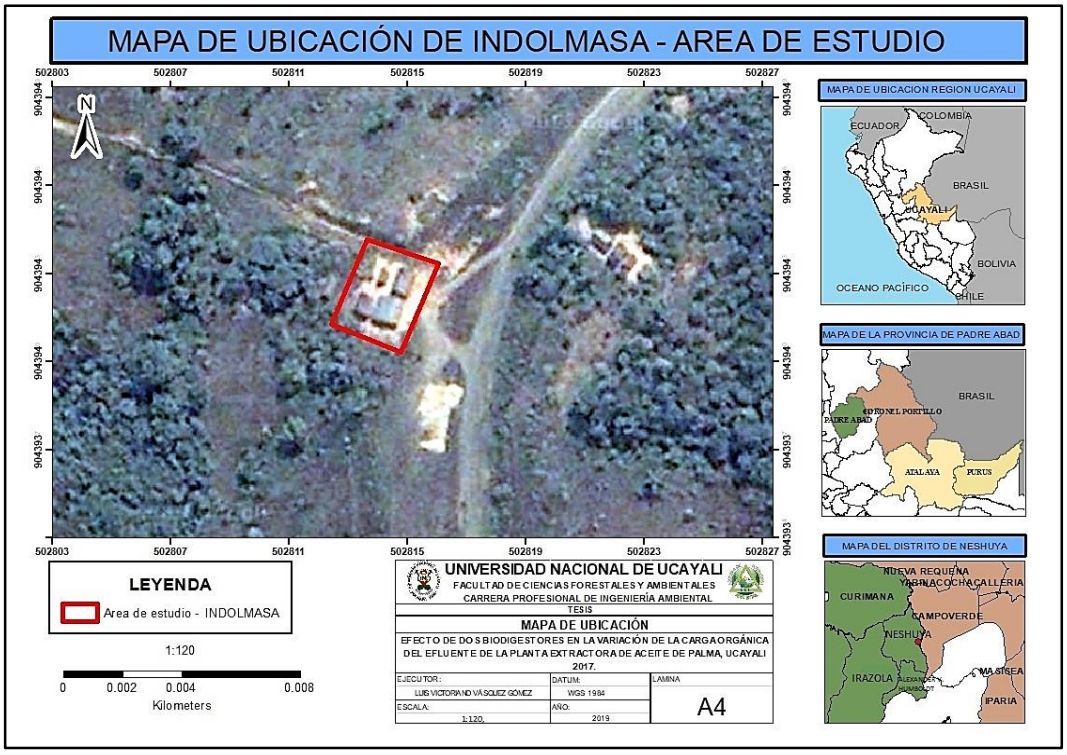


Figura 7. Mapa de ubicación de la empresa INDOLMASA.

3.2.2. Población

La población fue 40 m^3 de efluente que produce la planta extractora de aceite de palma por jornada de trabajo de 8 horas en la Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A.

3.2.3. Muestra

La muestra fue la carga diaria de efluente a cada biodigestor, el cual representó 0,25 m^3 de efluente en los biodigestores. En el primer tratamiento con 7,5 m^3 de efluente y el segundo tratamiento con 7,4 m^3 de efluente. Obteniendo como resultado la cantidad de 14,9 m^3 de muestra del efluente analizados en el experimento. Asimismo estos análisis iniciaron el 10 de enero de 2018 y finalizaron el 09 de febrero de 2018.

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Selección del lugar para la instalación de los biodigestores

La selección del lugar se realizó por inspección ocular, en base a la topografía del terreno y la cercanía de la laguna de retención. Se adecuó la instalación de los biodigestores a una distancia de 10 metros, cuyas pendientes bajas facilitaron el flujo del efluente de la laguna de retención mediante un sifón al tanque de homogenización, que posteriormente fueron enviados por un sistema de riego por tubos a los biodigestores por acción de gravedad.

3.3.2. Instalación de biodigestores

El terreno estaba ubicado en un área pastosa, sin presencia de flora y fauna. Por ende se requirió el apoyo de una persona, que manejó la retroexcavadora para realizar las zanjas donde se señalaron e instalaron los biodigestores. Posteriormente todos los integrantes del equipo comenzaron a acondicionar y perfilar las zanjas tipo trapecio donde se ubicaron los biodigestores. Cuyas medidas fueron: 0,9 metros de ancho en la parte superior, 0,7 metros de ancho en la parte inferior, 0,9 metros de profundidad y 8 metros de longitud donde fueron ubicados los biodigestores anaeróbicos.

Los biodigestores al haber estado ubicados en el interior de las zanjas con forma de talud excavada en el área de estudio, proporcionaron un soporte de la estructura y mantenimiento constante de la temperatura. Los rayos del sol durante el día calentaron el terreno y ese calor se liberó a medida que la temperatura ambiente descendía, proporcionando una

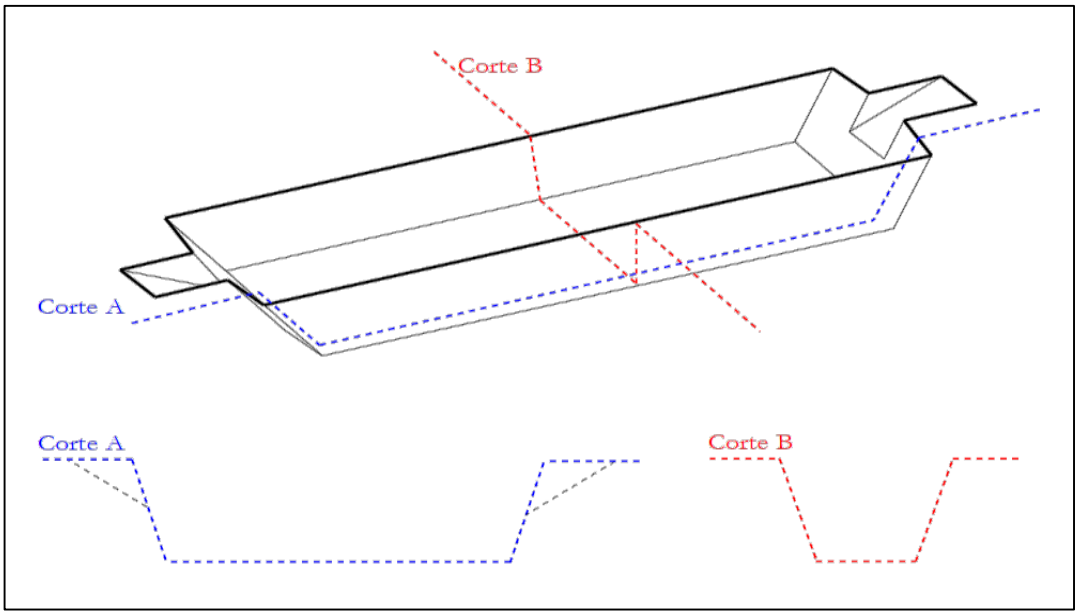
temperatura que tiende a ser homogénea en el interior de los biodigestores.

Las siguientes dimensiones se emplearon de manera general para identificar la dimensión e instalación. A partir del ancho de rollo empleado. Por consideraciones geométricas, se obtiene:

Tabla 9. Dimensiones de la zanja.

Ancho del rollo (m)	Profundidad, H (m)	Ancho superior, a_s (m)	Ancho inferior, a_i (m)
1	0,6	0,7	0,6
1,25	0,7	0,9	0,7
1,5	0,8	1	0,9
1,75	0,95	1,25	1
2	1	1,45	1,15

Fuente: (Avedaño, 2010)



Fuente: (Avedaño, 2010)

Figura 8. Representación de dos cortes en una zanja genérica.

Se realizaron excavaciones para depósitos de 1 m^3, con una distancia 1 m paralelo a las zanjas de los biodigestores por donde se descarga el biol y biosol del experimento.

Se instalaron los biodigestores sin ningún tipo de inconveniente en las zanjas. Se incorporó en la parte interna de los biodigestores: una innovadora aplicación de sensores especializados (MQ-2, Sensor pH y Sensor temperatura) para monitorear la concentración de metano, valor de pH y temperatura. La cual estuvo conectada al Sistema de recolección de Datos a Tiempo Real (el sistema arduino tuvo una caseta para asegurar que no tenga contacto con los rayos del sol y la lluvia); dos agitadores artesanales en cada biodigestor utilizando por día en las horas 7:00 a.m., 11:00 a.m., 3:00 p.m. y 7:00 p.m. cada 30 min de agitación, durante todo el experimento.

Además, se contó con un sistema de iluminación solo para monitorear en las noches el funcionamiento normal de los Biodigestores.

El volumen ocupado por el biogás fue del 25% del volumen total de cada biodigestor. En este caso la zanja no se ha dimensionado mal, porque el tiempo de retención no aumento ni disminuyo según los días y capacidad programados en los biodigestores respectivamente.

3.3.3. Toma de muestra del efluente e inoculación de sustrato de rumen de vaca

Los efluentes de la empresa Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A. que son vertidos a la laguna de retención fueron llevadas mediante un sifón al tanque de homogenización de 2,5 m^3 de volumen, para disminuir la temperatura y incrementar el pH se utilizó por cada 1 m^3 de efluente la cantidad de 3 Kg de Carbonato de Calcio con una dilución de 60 litros de agua (tiene un agitador manual para homogenizar el efluente). Posteriormente fueron enviados por un sistema de riego por tubos a cada

biodigestor con una carga de 0,25 m^3 por día, por acción de gravedad.

Se determinó la influencia en la inoculación del sustrato de rumen de vaca en el efluente, para la obtención de la variación de la carga orgánica se realizaron dos tipos de Tratamientos: el primer tratamiento (7,5 m^3 efluente) y el segundo tratamiento (7,4 m^3 efluente y 0,1 m^3 de rumen de vaca).

La inoculación del rumen de vaca sirve para acelerar el proceso de fermentación anaeróbica debido al aporte de microorganismos (bacterias metanogénicas, acidogénicas, hidrolíticas, entre otros), estos determinan el tiempo de retención y la variación de la carga orgánica en los tratamientos. Estos tratamientos son:

- T_1 = 7,5 m^3 Efluentes = Carga diaria 0,25 m^3 de efluente.
- T_2 = 7,4 m^3 Efluentes + 0,1 m^3 de rumen de vaca = Carga del primer día de 0,15 m^3 de efluente + 0,1 m^3 de rumen de vaca, y los días restante la carga es de 0,25 m^3 de efluentes.

Estos tratamientos sirvieron para determinar cuál de estos dos tipos de tratamiento me brindo mayor variación en la carga orgánica del efluente y hacer una diferenciación con respecto al efecto de los biodigestores.

3.3.4. Evaluación de la demanda química de oxígeno

Se tomaron una muestra del efluente de la planta extractora de aceite de palma al inicio del experimento y dos muestras del efluente de los biodigestores al final del experimento, para ser analizadas en el Laboratorio Natura Analítica S.A., la cual ha medido el parámetro principal de Demanda Química de Oxígeno según el LMP del D.S. N°003-2010-MINAM.

Tabla 10. LMP para efluentes de PTAR.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 Ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 - 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	ML/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (MINAM, 2010).

Se calculó la remoción en % de la DQO mediante la regla de tres simples directa con los resultados obtenidos de los análisis.

Formula: Reemplazando datos 1er Bd: Reemplazando datos 2do Bd:

$a \quad b$ $\quad$ $44{,}517\ mg/l \quad 100\%$ $\quad$ $44{,}517\ mg/l \quad 100\%$

$c \quad x$ $\quad$ $11{,}000\ mg/l \quad x$ $\quad$ $2{,}278\ mg/l \quad x$

$$x = \frac{b \ . \ c}{a} \qquad x = \frac{100\% \ . \ 11{,}000\ \cancel{mg/l}}{44{,}517\ \cancel{mg/l}} \qquad x = \frac{100\% \ . \ 2{,}278\ \cancel{mg/l}}{44{,}517\ \cancel{mg/l}}$$

$$x = 24{,}71\%\ remocion\ del\ afluente \qquad x = 5{,}12\%\ remocion\ del\ afluente$$

Y asimismo se comparó los resultados de la muestra al inicio y final del experimento, con los Límites Máximos Permisibles, calculando la remoción y se determinó que el segundo Biodigestor tiene una mejor remoción de la DQO.

3.3.5. Evaluación de pH

Los biodigestores en su interior se instaló la aplicación de Sensor pH para monitorear el valor de pH permitiendo identificar en que medio entra y permanece: acido, neutral o básico. La cual estuvo conectada al Sistema de recolección de Datos a Tiempo Real, permitiendo realizar la evaluación diaria de datos promedios de 60 min de registro cada 3 horas.

Como también se realizaron mediciones referenciales de pH y Temperatura; una muestra del efluente de la laguna de retención y tres muestras de efluente en cada biodigestor cada viernes con un pH metro digital portátil (calibrados en el laboratorio de calidad de INDOLMASA).

Así mismo, comparando los resultados de la media del valor de pH en ambos biodigestores del experimento, con el D.S. N° 003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR en el parámetro de pH, es el valor de 6,5 a 8,5. Cumpliendo con el valor requerido por las normas establecidas por el Gobierno Nacional.

Cuando el pH es menor a 6,5 no es posible cumplir con la etapa metanogénica en cambio se produce gran cantidad de ácido sulfhídrico, malos olores y inadecuado funcionamiento del sistema; para que los microorganismos metanogénicos mantengan una actividad metabólica adecuada, el rango de pH óptimo se encuentra entre 6,5 y 7,5 por lo que puede ser importante separar la fase del hidrolisis de la Metanogénesis.

Además, al permitir monitorear el parámetro del pH, se identificara que el efluente por su carácter ácido puede ocasionar un descenso en el pH, lo que puede afectar negativamente el metabolismo de las bacterias con alto

contenido de dióxido de carbono y bajo contenido de metano.

Por ello se incremento el valor de pH, utilizando por cada 1 m^3 de efluente la cantidad de 3 Kg de Carbonato de Calcio (Cal) con una dilución de 60 litros de agua en el tanque de Homogenización (tiene un agitador manual para homogenizar el efluente).

3.3.6. Evaluación de la concentración de metano

Los Bodigestores anaerobios tuvieron instalados en el interior, el sensor MQ-2 que estaban conectadas a un microcontrolador de plataforma abierta Placa Arduino, este sistema arduino estuvo conectada a un router y un modem con interneth, para obtener información del sistema de recolección de datos a tiempo real. Permitiendo realizar la evaluación diaria de datos promedios de 60 min de registro cada 3 horas (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21,24 horas), fue monitoreado en la oficina de Pucallpa en tiempo real.

Se determinó la concentración de metano (ppm) en tiempo real, comparando con los dos biodigestor quien mejor rindió en concentración de CH_4. Ya que por cada 1 m^3 de efluente de palma aceitera se produce 20 m^3 de biogás (Conil, 1989) y estudios ejecutados referente a la calidad de biogás contiene entre 50% a 80% de metano (Gutierrez et. al., 2012).

3.3.7. Evaluación del tiempo de retención

El Tiempo de Retención se determinó mediante la fórmula:

$$\mathrm{Tr\ (días)} = \frac{V_1}{V}$$

Donde:

V_1 = Volumen del tanque de fermentación del biodigestor (m^3).

V= Volumen de alimentación diaria al biodigestor (m^3/día).

La carga diaria es de 0,25 m^3 para cada biodigestor y tiene un volumen de 10 m^3. Por lo tanto, el volumen que representa es el 75% del biodigestor, equivalente a 7,5 m^3 para cada tanque de fermentación del biodigestor.

Reemplazamos los datos:

$$\text{Tr (días)} = \frac{\text{V}_1\,(\text{Volumen del tanque de fermentacion del biodigestor})\ \text{m}^3}{\text{V (Volumen de alimentacion diaria al biodigestor)}\ \text{m}^3/\text{día}}$$

$$\text{Tr} = \frac{7{,}5\ \cancel{\text{m}^3}}{0{,}25\ \cancel{\text{m}^3}/\text{día}}$$

$$\text{Tr} = 30\ \text{días}$$

Por lo tanto, el tiempo de retención hidráulica para cada biodigestor es de 30 días, del 10 de enero de 2018 al 09 de febrero de 2018 durante el experimento, por referencias de estudios ejecutados indican que la temperatura promedio en la región de Ucayali es de 27 °C (SENAMHI, 2014) y según (Alcayaga y Guerrero, 1999) las temperaturas de 20 ºC – 45 ºC se considera para ambiente mesofílico y para estos tipos de ambientes el tiempo de retención varía entre 10 – 40 días según (Olaya, 2006).

Así mismo, el tiempo de retención de la materia orgánica para alcanzar la máxima degradación es a los 13 días, posterior a este el proceso se mantiene constante con ligeras variaciones, el pH del efluente alcanza el óptimo valor, y la concentración del metano alcanza el valor más alto con 908,38 ppm. Estos datos se determinaron mediante los resultados obtenidos de los sensores especiales (MQ-2 y sensor de pH) durante el desarrollo del

experimento. Por consiguiente, se tiene como 13 días el Tiempo de Retención en la degradación de materia orgánica.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Materiales

- Papel Bond 75 gr A-4.
- Lápiz 2B.
- Lapicero PILOT G-1.100.
- Tablero A-4 de apunte.
- Libreta de apunte.
- Sobres de Manila A-4.
- Copias A-4.
- Manguera.
- Impresiones A-4.

3.4.2. Herramienta y equipos

- Biodigestores de Geomembrana de PVC.
- Listones de madera.
- Materiales techo/piso.
- Sensor: Metano, Temperatura y pH.
- pH metro digital portátil.
- Accesorios.

3.4.3. Accesorio de campo

- Botas de jebe.

- Gorra.
- Capota.

3.4.4. Servicio tecnológico

- Análisis de efluente en laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N° LE-104, Natura Analítica S.A.C.

3.4.5. Otros

- Alojamiento.
- Alimentación.
- Movilidad.
- Internet.

3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se trabajó mediante el Diseño Completamente al Azar, en ambos diodigestores con dos tipos de tratamiento diferente como se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Diseño completamente al azar de la investigación.

		TRATAMIENTO	
	DÍAS	T_1	T_2
REPETICIÓN	D_0	T_1D_0	T_2D_0
	D_1	T_1D_1	T_2D_1
	D_2	T_1D_2	T_2D_2
	----	----	----
	D_{30}	T_1D_{30}	T_2D_{30}

La repetición representa la época de estudio (del 10 de enero al 09 de febrero de 2018) y las variables T_1 y T_2 representan los tipos de tratamientos. Las cuales fueron monitoreados en los siguientes días, del D_0, $D_{1,...}$ al D_{30}.

Los datos mostrados de Metano, potencial de hidrogeno y temperatura se obtuvo de los sensores (MQ-2, Sensor pH y Sensor temperatura) que estuvieron conectadas a un microcontrolador de plataforma abierta (Placa Arduino), este sistema arduino estuvo conectada a un router y un modem con internet, para obtener información del sistema de recolección de datos a tiempo real, como se puede observar en la figura 18. Permitiendo realizar la evaluación diaria de datos promedios de 60 min de registro cada 3 horas y asimismo se obtuvo las tablas de datos mediante el programa Microsoft Excel en el sistema. Que permitieron evidenciar la dinámica de los parámetros (Metano y pH) durante la investigación, la tabla de datos trabajada del programa Microsoft Excel se exportaron al software para análisis estadístico InfoStat 2016, para efectuar el ANOVA de un solo factor mediante la prueba de comparación de medias de turkey con un $\alpha=0,05$, cuyo propósito es determinar si los parámetros de metano y pH son significativamente diferentes con respecto a los biodigestores en investigación y se evaluó con un 95% de nivel de confianza.

En el caso del pH se tuvo que realizar tres mediciones referenciales, para asegurar el buen funcionamiento del sensor de pH porque no estaba brindando datos coherentes con respecto a sus mediciones. Por ende se realizaron a partir de esa fecha tres mediciones cada viernes durante la investigación, mediante toma de muestras y analizadas de manera manual con un pH metro digital portátil (calibrado en el laboratorio de calidad de

INDOLMASA). Permitiendo obtener datos de pH y Temperatura que se tabularon en el programa Microsoft Excel.

Los datos de demanda química de oxígeno se realizó mediante una toma de muestra del efluente de la planta extractora de aceite de palma al inicio de la investigación y dos tomas de muestras del efluente de los biodigestores al final de la investigación, para ser analizadas en el Laboratorio Natura Analítica S.A. Se calculó la remoción en % de la DQO mediante la regla de tres simples directa, permitiendo tabular los resultados obtenidos en el programa Microsoft Excel.

Para el caso del tiempo de retención se realizaron dos criterios. El Tiempo de retención hidráulica se determinó mediante la fórmula de tiempo de retención: Tr = V1 (m3) / V (m3/día) y se calculó el resultado. Asimismo el Tiempo de Retención en la degradación de materia orgánica se determinó mediante los resultados obtenidos de los sensores especiales (MQ-2, sensor de pH) durante el desarrollo del experimento. Permitiendo tabular los resultados en el programa Microsoft Excel.

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

Los valores mostrados a través del procesamiento de datos utilizando el programa Microsoft Excel del sistema de recolección de datos a tiempo real fueron exportados al software para análisis estadístico InfoStat 2016, para efectuar el ANOVA de un solo factor mediante la prueba de comparación de medias de turkey con un $\alpha=0,05$, con un nivel de confianza al 95%, medias con una letra común no son significativamente diferentes,

se trabajaron con los datos de pH y CH_4 en ambos biodigestores; como se puede observar en la tabla 12 y 14.

Los datos presentados de la demanda química de oxígeno se compararon mediante una toma de muestra del efluente de la planta extractora de aceite de palma al inicio del experimento y dos tomas de muestras del efluente de los biodigestores al final del experimento, que fueron analizadas en el Laboratorio Natura Analítica S.A. Se calculó la remoción en % de la DQO mediante la regla de tres simples directa, permitiendo tabular los resultados obtenidos en el programa Microsoft Excel y determinar cuál de los dos biodigestores tuvo mayor remoción en la carga orgánica durante el experimento.

Los datos mostrados del tiempo de retención se realizaron mediante dos criterios. El Tiempo de retención hidráulica se determinó mediante la fórmula de tiempo de retención: $Tr = V1\ (m^3) / V\ (m^3/día)$. Y el Tiempo de Retención en la degradación de materia orgánica se determinó mediante los resultados obtenidos de los sensores especiales (MQ-2, sensor de pH).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Valor del pH del efluente de la planta extractora de aceite de palma en los biodigestores anaerobios

El pH del efluente del proceso de la planta extractora de la palma aceitera al ingresar a los biodigestores tuvo valor de 4,54 siendo este considerado muy acido. Según (Conil, 1989) indica que en un medio anaeróbico (ausencia de oxígeno) y neutro (pH de 7) se desarrollan unas bacterias que tienen la propiedad de degradar la materia orgánica y transformarla en gas. Los microorganismos (bacterias) encargados de la producción del biogás son sensibles al pH, cambios en las unidades de pH estando por debajo de 6 y por encima de 8 afectan la generación del biogás, teniendo un óptimo de 7 a 7,2 de valor de pH; (UPME, 2003) indica que a un pH mayor que 8,5 la población de bacterias metanogénicas, comenzará a mostrar efectos tóxicos.

En la tabla 12 podemos mostrar que entre los biodigestores en estudios no existen diferencias estadísticas significativas p>0,05.

Tabla 12. Comparación de medias para el pH en el arranque de los biodigestores.

Biodigestor	Medias	n	E.E.	
2	7,98	30	0,19	A
1	8,08	30	0,19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Al día 8 de iniciado el proceso de biodigestión el pH llega al mínimo requerido para la producción de biogás. Alcanzando una media de un valor de pH de 8,08 en el interior del biodigestor, a su vez este pH es el que sale para ser vertido al exterior estando dentro de lo permitido de acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM. Los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR en el parámetro de pH, es el valor de 6,5 a 8,5 ver figura 9.

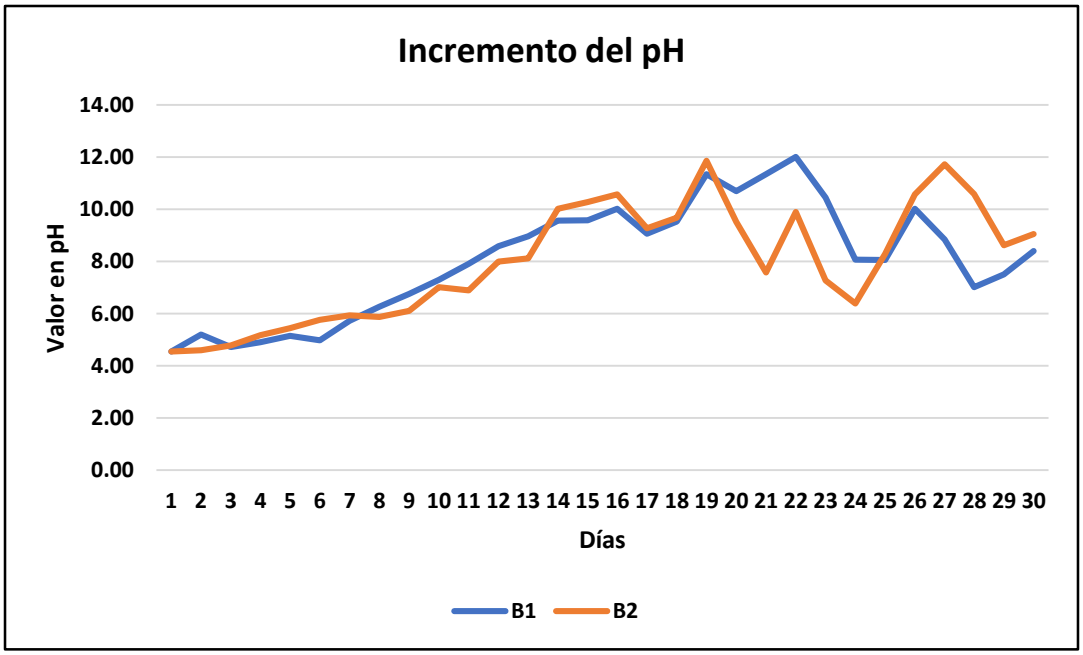


Figura 9. Incremento del potencial de hidrogeno.

(Conil, 2000) en su estudio de caracterización de los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma en Colombia encontró resultados entre 4 a 4,5 de valor de pH, asimismo (Diaz, 2016), obtuvo resultados de 3,4 a 5,2 de valor de pH y (Garcia, 1996), a través del Centro de investigación en palma de aceite (CENIPALMA) encontró promedios en 4,55 de valor de pH. Nuestros resultados muestran que el proceso de biodigestión mediante el empleo de nuestros biodigestores con los efluentes de la planta extractora de aceite de palma INDOLMASA asegura un vertimiento cumpliendo las normas establecidas referente al parámetro de pH por el Gobierno Nacional.

4.2. Determinar la cantidad removida de la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de la planta extractora de aceite de palma

Los resultados de los análisis obtenidos antes del experimento del proceso de biodigestión del efluente de la planta extractora de aceite de palma, la DQO se muestran en la siguiente tabla 13, donde podemos apreciar que el efluente de la planta extractora de aceite de palma de la empresa INDOLMASA contiene 44 517 mg/l de DQO; En su estudio de caracterización de efluentes de plantas extractora de aceite de palma en Colombia (Conil, 2000) obtuvo resultado de DQO de 20 000 a 40 000 mg/l; asimismo (Diaz, 2016) encontro resultado de DQO de 15 000 a 100 000 mg/l y por ultimo (Garcia, 1996) encontro resultados de DQO con un promedio de 79 529,6 mg/l en estudios realizados con CENIPALMA.

Sin embargo, los resultados obtenidos de DQO posterior al pase del efluente por un proceso de biodigestión (biodigestor anaerobico), nos permite determinar que el efluente puede ser tratado mediante este proceso, debido a que podemos remover hasta un 94,88% en el segundo biodigestor y de 75,29% en el primer biodigestor (ver figura 10 y 11), ello debido a que el segundo biodigestor recibio una carga inicial de 0,1 m^3 de rumen de vaca al inicio del arranque del biodigestor; (Garzón, 2015) en su estudio de generacion de metano de agua residual de proceso de extracción de aceite de palma alcanzo un porcentaje de remocion del 89,2% de DQO presente. En Colombia la ley exige que las aguas residuales antes de ser vertidas los contaminantes la remocion sea de un 80% (Avendaño y Martinez, 2015).

Tabla 13. Resultado de los análisis de DQO de los efluentes de la planta extractora y los biodigestores.

Efluente	Efluente INDOLMASA	E. Biodigestor 1	E. Biodigestor 2	LMP
Valor en Mg/l	44 517	11 000	2 278	200

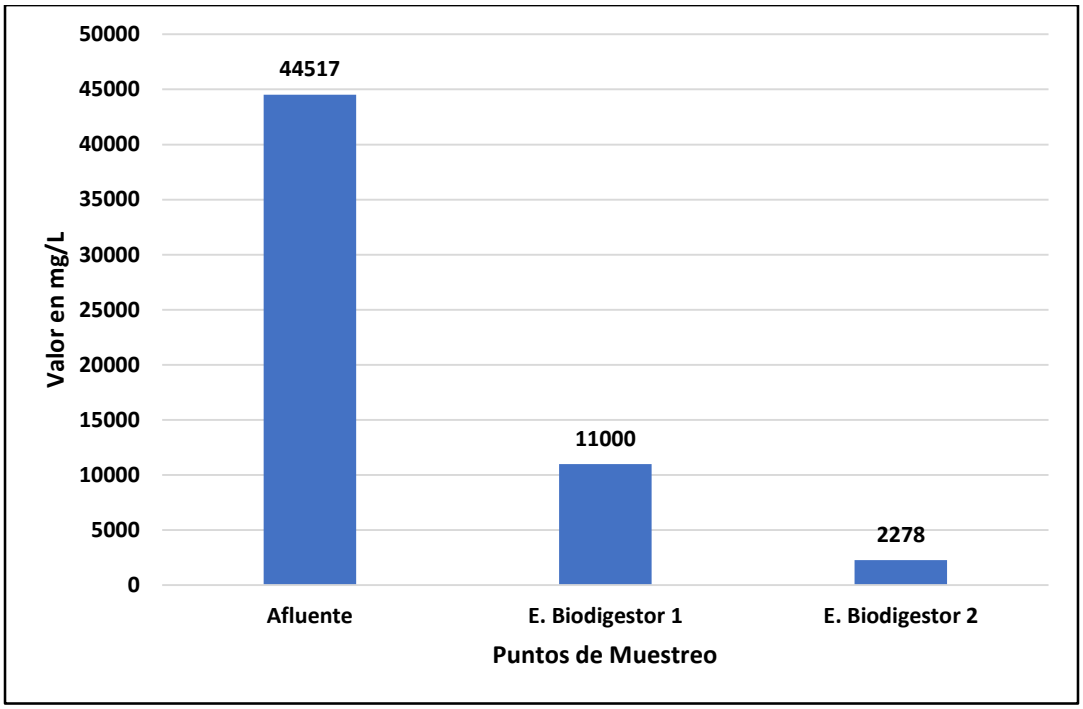


Figura 10. Remoción de la demanda química de oxígeno.

El D.S. N° 003-2010-MINAM, los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR exige para el parámetro de DQO debe cumplir con 200 mg/l para efluentes vertidos a cuerpos de agua, sin embargo no es específico para palma aceitera, no existe norma específica para palma aceitera debido a que las cargas de DQO en estos tipos de efluentes son muy cargadas, sin embargo en nuestro proceso la remocion es de 94,88% de la DQO en el segundo Biodigestor y de 75,29% en el primer Biodigestor.

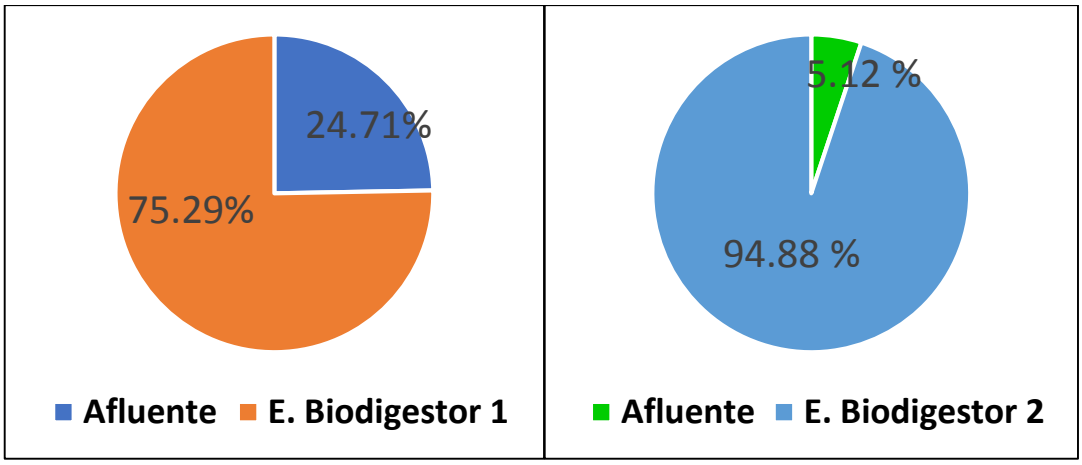


Figura 11. Porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno por biodigestor.

4.3. Determinar la eficiencia de los biodigestores en la concentración de metano (biogás)

En la tabla 14 podemos ver los resultados encontrados en la concentración de metano entre los biodigestores, donde encontramos que existen diferencias estadisticas significativas $p < 0,05$; el segundo biodigestor es estadisticamente superior al primer biodigestor, ello debido a que el segundo biodigestor recibio en el momento del arranque 0,1 m^3 de rumen de vaca, carga microbiana con bacterias metanogenicas que funciono como catalizador, es decir inicio primero la concentración de metano ver figura 12, la máxima concentración de metano alcanzo al dia 13 con 908,38 ppm en el segundo biodigestor y 749,31 ppm para el primer biodigestor al dia 13.

Tabla 14. Resultado de concentración de metano.

Biodigestor	Medias	n	E.E.		
1	634,46	30	4,22	A	
2	766,26	30	4,22		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

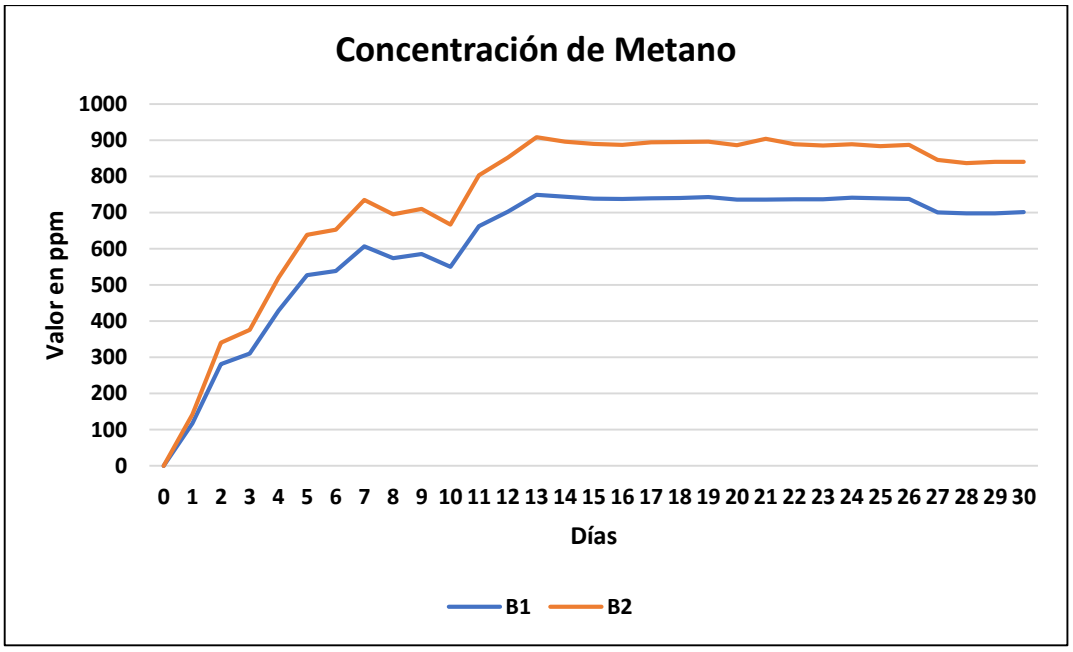


Figura 12. Concentración de metano.

El metano es un gas de efecto invernadero, 21 veces más contaminante que el dioxido de carbono, el poder contenerlo en un biodigestor y evitar emitir a la atmosfera ya es un gran logro, aun más si esto lo podemos usar para generar energía calorífica o eléctrica, en las plantas extractoras de aceite de palma.

(Gutierrez *et al.*, 2012) se denomina calidad de biogás, aquel volumen de biogás que contiene en su composición de gases un 50% a 80% de gas metano, (Varnero, 2011) indica que cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

4.4. Tiempo de retención

En las figuras 12 y 13 podemos observar que el tiempo de retención de la materia orgánica para alcanzar la máxima degradación es a los 13 días posterior a este el proceso se mantiene constante con ligeras variaciones, en la figura 9 el pH del efluente alcanza el óptimo valor, asimismo en la figura 12 la concentración de metano alcanza el valor más alto con 908,38 ppm.

El tiempo de retención del biodigestor esta dada por la produccion diaria de efluente (vol./dia) y el tiempo que alcanza la máxima biodegradabilidad de la materia orgánica, ademas tambien esta dada con la calidad del biol o bioabono liquido; (Varnero, 2011), indica que los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú, asimismo indica que la velocidad de degradación de la materia orgánica depende de las características de la materia prima, el tiempo de retención, los sólidos totales y de la temperatura principalmente, para nuestro caso considerando estabilizar el pH y alzanzar el máximo valor de concentración de metano, nuestro tiempo de retención es de 13 días y al volumen del biodigestor (10 m^3) es de 30 días (0,25 m^3/día) alcanzando un volumen de 7,5 m^3 de efluente y 2,5 m^3 de biogás por biodigestor.

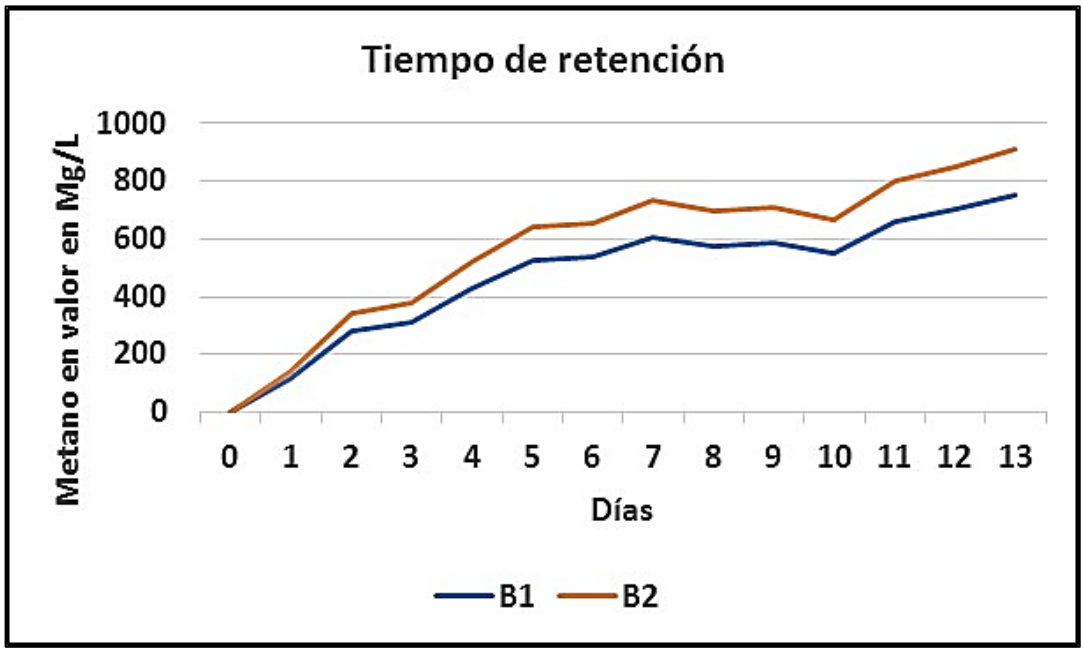


Figura 13. Tiempo de retención en la degradación de materia orgánica para la concentración de metano.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Estando el potencial de hidrogeno (pH) con un incremento de 7,98 valor de media del pH en el segundo biodigestor y 8,08 valor de media del pH en el primer biodigestor.
2. La cantidad máxima en remoción de demanda química de oxígeno (DQO) fue 94,88% en el segundo biodigestor, a diferencia del primer biodigestor que tuvo una remoción de DQO de 75,29%.
3. Siendo eficiente el segundo biodigestor con una máxima concentración de metano de 908,38 ppm al día 13, a diferencia del primer biodigestor con una máxima concentración de metano de 749,31 ppm al día 13.
4. El tiempo de retención hidráulica en los biodigestores es de 30 días y el tiempo de retención de la degradación materia orgánica es de 13 días para ambos biodigestores.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos con aguas residuales domesticas en la producción de biogás y evaluar la calidad del biol a los 13 días alcanzado la máxima concentración de metano.
2. Realizar pruebas durante todas las estaciones climáticas, principalmente en la estación de invierno y estación de verano que tiene nuestra región.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Alcayaga, G. y Guerrero, L. (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaeróbico de lecho de lodo granular. Obtenido de la Universidad Tenica Federico Santa Maria, Valparaiso: http://profesores.elo.utfsm. cl/~jgb/ ALCAYAGA1c.pdf

Antonio, G. (1996). Producción de Gas y Saneamiento de Efluentes. En G. Antonio, Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales (págs. 1-80). Lima-Peru: Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.

Avedaño, P. (2010). Diseño y Construccion de un Digestor Anaerobico de flujo piston que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja. Obtenido de http://megaslides.es/doc/221857/dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-digestor-anaerobiode-flujo-p.

Avendaño, F. y Martinez, J. (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

Baten, M. (2013). Diseño de la investigación para la evaluación de la implementacion de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales de una planta productora de mayonesa ubicada en el municipio de fraijanes. Obtenido de la tesis para optar el titulo de Ingeniero Quimico http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1296_Q.pdf

Brugés *et al*., (2000). Evaluación económica de sistemas de tratamiento de efluentes para una planta extractora de aceite de palma. 257.

CASIUPA. (2016). Metano como fuente de alternativa energética. Obtenido de http:// CASIUPA2.webcindario.com/metano.pdf

Cendales, E. (2014). Modelamiento computacional de la produccion de energia renovable a partir del biog{as mediante la codigestion anaerobica de la mezcla de residuos citricos y estiercol bovino . Revista EAN.

Cerda, E. (2013). Energia obtenida de biomasa. Obtenido de Universite complutense de Madrid http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117140_78E2E154C2B B213409D09C083013930C.pdf

Conil, P. (2000). La valoración de los subproductos de la planta de tratamiento de los efluentes de la extracción de aceite de palma "Palmar Santa Elena", en Tumaco, Colombia. Obtenido de Director para Latinoamérica. Biotec de Colombia S.A.: file:///C:/Users/CARLOS/Downloads/792-792-1-PB.pdf

Conil, P. (1989). Biodigestores para lodo de palma. Experiencia colombiana. Obtenido de file:///C:/Users/CARLOS/Downloads/220-220-1-PB.pdf

Dagoberto, E. (2005). El Biodigestor. Costa Rica: ACCS.

Diaz, Y. (2016). VI Congreso Sudamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Carga Contaminante de efluentes Industriales. Huacho.

Díaz, R. y 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.

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

Garcia, J. (1996). Manejo de Efluente de plantas extractora de aceite de palma. CENIPALMA, 9-17.

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

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

GTZ-CVC-OEKOTOP. (1987). Difusion de la Tecnologia del biogás en Colombia. Cali.

Guevara, A. (1996). Fundamento para el diseño de Biodigestores. Obtenido de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmiria: http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/ 4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf

Gutierrez *et al*., (2012). Biogás. Una alternativa ecologia para la produccion de energia. Obtenido de Ideas Concytec http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg /Archivos/85_1_Gutierrez_Garcia_et_al.pdf

Insam *et al*., (2009). Microbes in aerobic and anaerobic waste treatment. En Microbes at work. From wastes to resources (págs. 1-34). Heidelberg, Dordrecht, London, New York.: Springer.

Jimenez, B. (2005). La contaminacion ambiental en Mexico: Causas, Efectos y Tecnologia apropiada. Limusa.

Kervyn, B. (2009). Biogás con efluentes de palma. Obtenido de http:// document slide .com/documents/42-pc27-c77-pipoc-publicacion-espanol-sept-209 .html

Madigan, M. y Mertinko, J. (1997). Biology of Microorganisms. New Jersey, USA: Prentice Hall.

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

MINAG. (2001). Plan Nacional de Promocion de la Palma Aceitera. Obtenido de http://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Normativa/Resoluciones-Ministeriales /RM-01 55-2001-AG.pdf.

MINAM. (2010). Aprueban Limites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. Obtenido de Decreto Supremo N°003-2010-MINAM http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendo c bib/con4_uibd.nsf/DE39F6816BB3C53705257DCC00710E6F/$ FILE/ds_003-2010-MINAM-LMP.pdf

Miranda, M. (2014). Determinacion del tiempo de descomposicion del escobajo de palma aceitera (Elaeisguineensis), bajo condiciones ambientales en el distrito de campo verde; Provincia de Coronel Portillo. Obtenido de Obtenido de Tesis para optar el grado académico de Magister https://es.scribd.com/document/162177794/Tesis-Maestria-Miranda.

NATURA. (2017). Analisis de parametros. Calleria: Natura Analitica S.A.C.

NATURA. (2018). Analisis de parametros. Calleria: Natura Analitica S.A.C.

Olaya, Y. (2006). Diseño de un biodigestor de cupula fija. Trabajo de grado Ingenierio Agrícola. Obtenido de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.: http://

www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf

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

Panduro, G. (Setiembre de 2017). Efluente de la planta de extracción de aceite de palma Industria Oleaginosa Monte Alegre S.A. (Vasquez, Entrevistador).

Pérez, M. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicacion en pequeños ganaderos y lecheros. Obtenido de tesis para optar el titulo de Ingeniero Civil en Universidad de Chile. http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cfperez_jm /pdf.

Petitpierre, G. (1983). Tratamiento del efluente del Aceite de Palma y producción de biogás. Obtenido de file:///C:/Users/CARLOS/Dow nloads/41-41-1-PB.pdf

Schlaefli, F. (2010). Tratamiento de Residuos Orgánicos del comedor universitario de la UNALM en un biodigestor semi-continuo para la producción de biogás y biol. Lima-Perú.: Universidad Nacional Agraria La Molina.

SENAMHI. (2014). Servicio Nacional de Metereologia e Hidrologia. Obtenido de Obtenido de condiciones climáticas, hidrológicas y ambientales en la region de Huanuco, Ucayali y Provincia de Tocache.: http://www.senamhi.gob.pe/load/file/04401SENA-27022014.pdf

UNFCC. (2013). Informe complementario sobre el estudio de viables para el aprovechamiento del biogás en extremadura, en el marco del proyecto de recuperacion transfronteriza España - Portugal alterxa, para el apoyo al cambio climatico a travez del fomentodel a senergias. Obtenido de www.altercexa.eu./images/archivos/Areas%20temáticas/biogás/Estudio%20 biogás.pdf

UPME. (2003). Guia para la Implementacion de Sistema de produccion de Biogás. Bogota, Colombia: Documento N° ANC-603-19-01.

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

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.: http://www.worldcat.org/title/informe-tecnico-aprovechamiento-racional-de-desechosorgánicos/oclc/503240891

ANEXOS

ANEXO 1

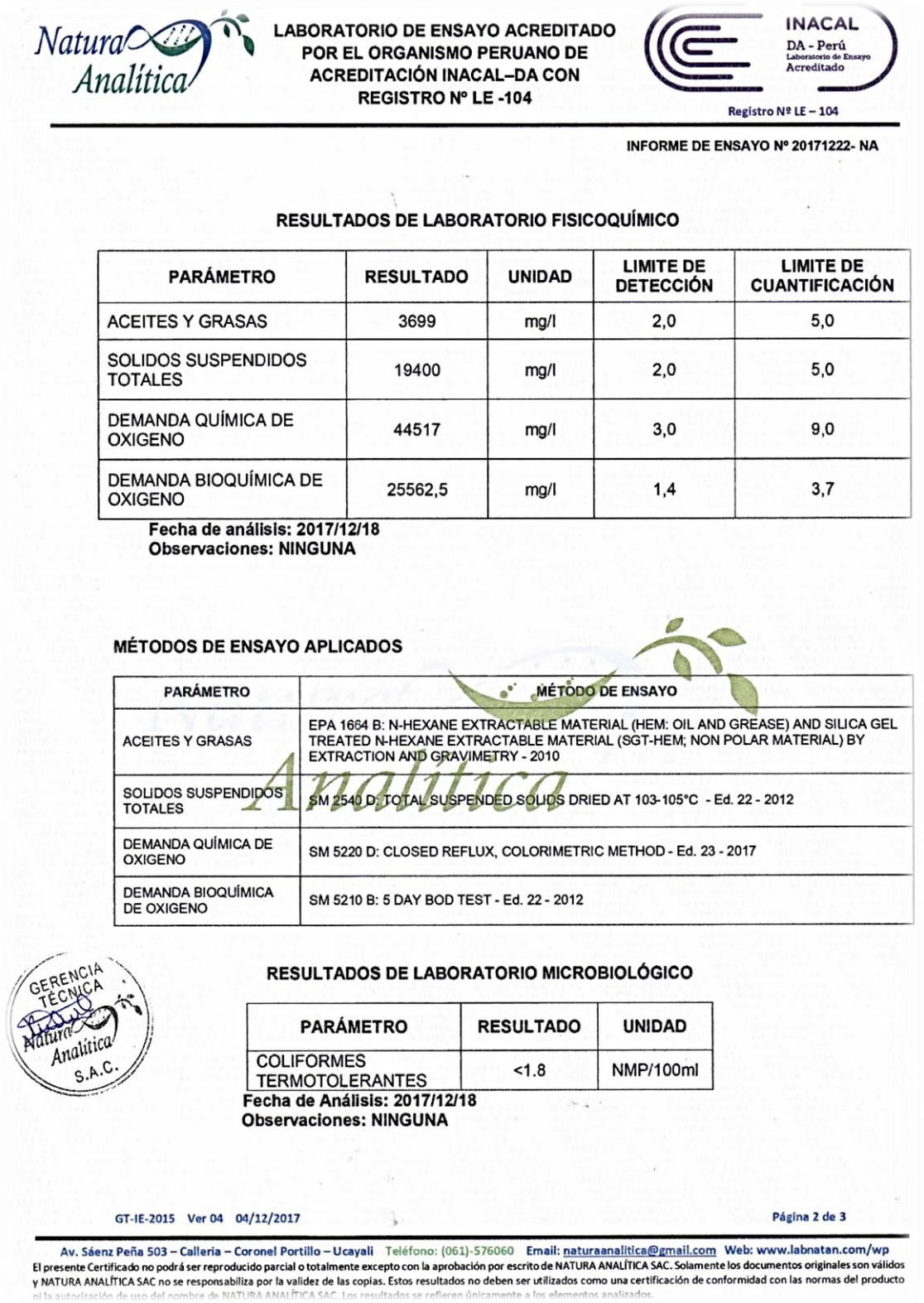
IDENTIFICACIÓN DE VALORES DE pH

Tabla 15. Valores del pH interna durante el tiempo de retención hidráulica.

VALORES DEL pH INTERNA DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA			
DIA	FECHA	B1 pH (Valor de pH)	B2 pH (Valor de pH)
0	10/01/2018	0,00	0,00
1	11/01/2018	4,54	4,54
2	12/01/2018	5,20	4,60
3	13/01/2018	4,72	4,78
4	14/01/2018	4,90	5,17
5	15/01/2018	5,15	5,44
6	16/01/2018	4,98	5,76
7	17/01/2018	5,73	5,93
8	18/01/2018	6,26	5,87
9	19/01/2018	6,75	6,11
10	20/01/2018	7,30	7,01
11	21/01/2018	7,91	6,89
12	22/01/2018	8,58	7,99
13	23/01/2018	8,96	8,12
14	24/01/2018	9,57	10,03
15	25/01/2018	9,58	10,28
16	26/01/2018	10,02	10,57
17	27/01/2018	9,06	9,27
18	28/01/2018	9,53	9,68
19	29/01/2018	11,35	11,86
20	30/01/2018	10,69	9,52
21	31/01/2018	11,35	7,58
22	01/02/2018	12,01	9,90
23	02/02/2018	10,45	7,27
24	03/02/2018	8,07	6,38
25	04/02/2018	8,06	8,29
26	05/02/2018	10,02	10,57
27	06/02/2018	8,84	11,73
28	07/02/2018	7,01	10,59
29	08/02/2018	7,50	8,62
30	09/02/2018	8,40	8,79

ANEXO 2

INFORME DE ENSAYO INICIAL DE DQO Y pH DEL EFLUENTE



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

GT-IE-2015 Ver 04 04/12/2017 Página 2 de 3

Av. Sáenz Peña 503 – Calleria – Coronel Portillo – Ucayali Teléfono: (061)-576060 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.

Fuente: (NATURA, 2017).

Figura 14. Análisis de DQO inicial del efluente de la planta extractora de aceite de palma.



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

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.
Quim. Kelly Paola Taco Velasquez
CQP. 800
GERENTE TECNICO

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

FIN DE INFORME DE ENSAYO

GT-IE-2015 Ver 04 04/12/2017 Página 3 de 3

Av. Sáenz Peña 503 – Calleria – Coronel Portillo – Ucayali Teléfono: (061)-576060 Email: naturaanalitica@gmail.com Web: www.labnatan.com/wp

presente Certificado no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NATURA ANALÍTICA SAC. Solamente los documentos originales son válido
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 product
la autorización de uso del nombre de NATURA ANALÍTICA SAC. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados.

Fuente: (NATURA, 2017)

Figura 15. Análisis del pH inicial del efluente de la planta extractora de aceite de palma.

ANEXO 3

CERTIFICADO DE ANÁLISIS FINAL DE DQO EN LOS EFLUENTES

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.
Natura Analítica
S.A.C. Q. Alcides E. Castillo Quezada
Laboratorio Clínico y Análisis Biológicos
CBP 5174 ENF 0138

1

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

Fuente: (NATURA, 2018)

Figura 16. Análisis de DQO final de cada biodigestor del efluente de la planta extractora de aceite de palma.

ANEXO 4

CONCENTRACIÓN DE CH_4

Tabla 16. Concentración de metano durante el tiempo de retención hidráulica.

CONCENTRACIÓN DE METANO DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICA			
DIA	FECHA	B1 CH_4 (ppm)	B2 CH_4 (ppm)
0	10/01/2018	0,00	0,00
1	11/01/2018	117,08	141,95
2	12/01/2018	280,98	340,67
3	13/01/2018	310,25	376,16
4	14/01/2018	428,50	519,52
5	15/01/2018	526,84	638,76
6	16/01/2018	538,55	652,95
7	17/01/2018	606,45	735,28
8	18/01/2018	573,67	695,53
9	19/01/2018	585,38	709,73
10	20/01/2018	550,26	667,14
11	21/01/2018	662,65	803,41
12	22/01/2018	702,45	851,67
13	23/01/2018	749,31	908,38
14	24/01/2018	743,88	896,05
15	25/01/2018	738,57	889,97
16	26/01/2018	737,18	887,43
17	27/01/2018	739,20	894,25
18	28/01/2018	739,84	895,29
19	29/01/2018	743,22	896,38
20	30/01/2018	735,64	886,25
21	31/01/2018	735,97	903,58
22	01/02/2018	736,56	888,52
23	02/02/2018	736,58	884,96
24	03/02/2018	741,14	888,89
25	04/02/2018	739,00	884,00
26	05/02/2018	737,18	887,43
27	06/02/2018	700,43	845,46
28	07/02/2018	697,95	837,00
29	08/02/2018	697,40	840,60
30	09/02/2018	701,66	840,60

ANEXO 5

IDENTIFICACIÓN DE VALORES DE pH Y TEMPERATURA

Tabla 17. Valores del pH de la muestra con el pH metro digital portátil.

VALORES DEL pH DE LA MUESTRA CON EL pH METRO DIGITAL PORTÁTIL				
DIA	FECHA	laguna de retención pH (valor de pH)	B1 pH (valor de pH)	B2 pH (valor de pH)
1	11/01/2018	5,04	---	---
16	26/01/2018	---	8,05	8,03
23	02/02/2018	---	8,11	8,12
30	09/02/2018	---	8,08	7,84

Tabla 18. Temperatura de la muestra con el pH metro digital portátil.

TEMPERATURA DE LA MUESTRA CON EL PH METRO DIGITAL PORTÁTIL				
DIA	FECHA	Laguna de retención Temperatura (°C)	B1 TEMPERATURA (°C)	B2 TEMPERATURA (°C)
1	11/01/2018	43,80	---	---
16	26/01/2018	---	34,73	32,30
23	02/02/2018	---	35,43	31,33
30	09/02/2018	---	30,87	28,47

ANEXO 6

IDENTIFICACIÓN DE TEMPERATURA

Tabla 19. Temperatura interna promedio durante el tiempo de retención hidráulica.

TEMPERATURA INTERNA PROMEDIO DURANTE EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICA			
DIA	FECHA	B1 TEMPERATURA (°C)	B2 TEMPERATURA (°C)
0	10/01/2018	29,03	29,23
1	11/01/2018	29,10	29,51
2	12/01/2018	29,27	29,56
3	13/01/2018	29,36	29,52
4	14/01/2018	29,37	29,66
5	15/01/2018	29,43	29,57
6	16/01/2018	29,67	30,09
7	17/01/2018	29.44	30,23
8	18/01/2018	29,80	30,46
9	19/01/2018	29,87	30,50
10	20/01/2018	29,33	29,83
11	21/01/2018	29,95	30,25
12	22/01/2018	30,06	30,64
13	23/01/2018	29,65	30,00
14	24/01/2018	29,31	29,96
15	25/01/2018	29,51	29,83
16	26/01/2018	28,96	29,62
17	27/01/2018	29,17	29,57
18	28/01/2018	29,65	30,00
19	29/01/2018	29,69	30,23
20	30/01/2018	29,95	30,34
21	31/01/2018	29,87	30,50
22	01/02/2018	29,13	29,62
23	02/02/2018	30,04	30,53
24	03/02/2018	29,65	30,12
25	04/02/2018	29,25	29,64
26	05/02/2018	29,89	30,34
27	06/02/2018	30,16	30,71
28	07/02/2018	30,41	30,85
29	08/02/2018	29,35	29,70
30	09/02/2018	29,65	29,93

ANEXO 7

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

pH

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
pH	60	0,89	0,78	12,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	250,18	30	8,34	7,91	<0,0001
biodigestor	0,16	1	0,16	0,15	0,7014
Error	30,57	29	1,05		
Total	280,75	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,54218

Error: 1,0541 gl: 29

biodigestor	Medias	n	E.E.	
2	7,98	30	0,19	A
1	8,08	30	0,19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Metano

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Metano	60	0,99	0,98	3,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2082862,66	30	69428,76	129,73	<0,0001
biodigestor	260573,87	1	260573,87	486,89	<0,0001
Error	15520,09	29	535,18		
Total	209838,75	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=12,21644

Error: 535,1756 gl: 29

biodigestor	Medias	n	E.E.		
1	634,46	30	4,22	A	
2	766,26	30	4,22		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 17. Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros de metano y pH.

ANEXO 8

SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS A TIEMPO REAL



Figura 18. Sistema de recolección de datos a tiempo real.

ANEXO 9

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 19. Equipo de trabajo en reunión e inspección del biodigestor.



Figura 20. Señalización del lugar a excavar para instalar los biodigestores.



Figura 21. Acondicionamiento y perfilado de zanjas.



Figura 22. Instalación de biodigestores.



Figura 23. Preparación de dilución de cal para incorporar al tanque de homogenización del efluente.



Figura 24. Llenado del rumen de vaca en cilindros.



Figura 25. Agregando al segundo biodigestor 0,1 m^3 de rumen de vaca.

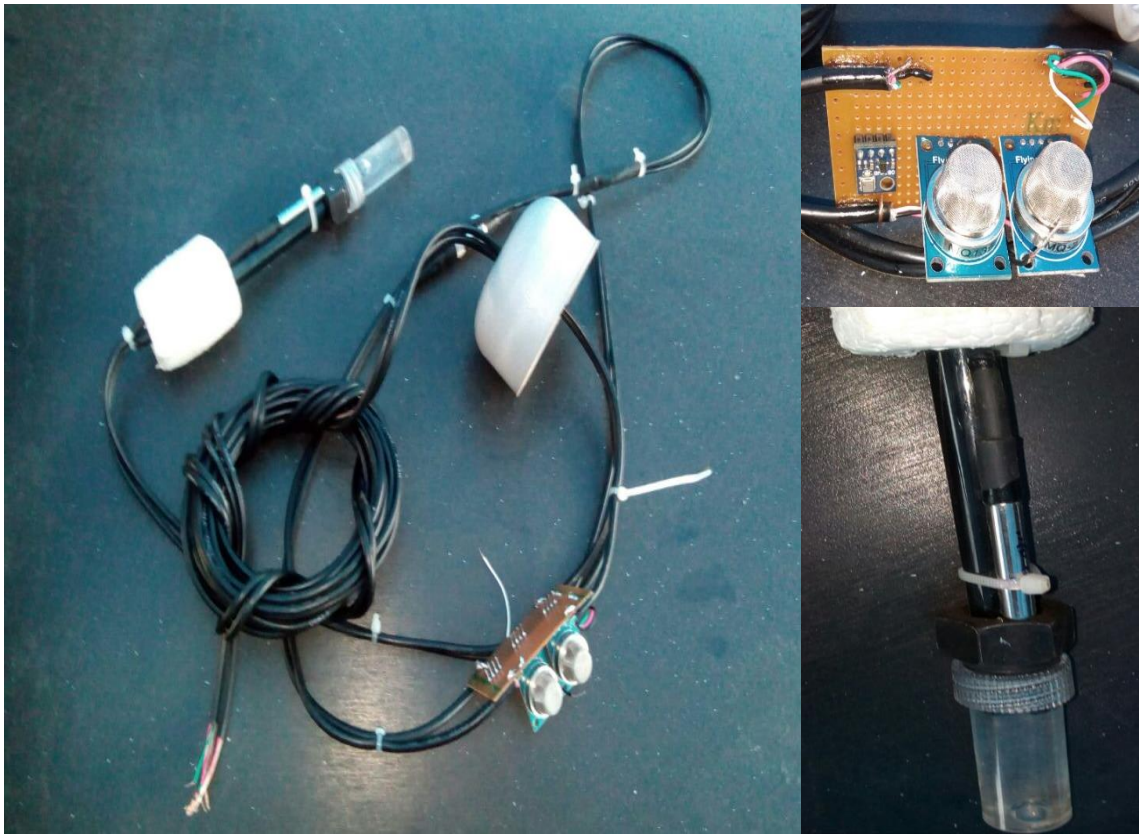


Figura 26. Sensor MQ-2, MQ-13, sensor temperatura y sensor pH.



Figura 27. Revisión del sistema arduino.



Figura 28. Revisión de los biodigestores.



Figura 29. Toma de muestra del primer biodigestor para análisis de pH.



Figura 30. Determinación del valor de pH en los biodigestores.



Figura 31. Determinación del valor de pH en la poza de almacenamiento del efluente de la planta extractora de aceite de palma.



Figura 32. Rotulación de frasco con efluente de la planta extractora de aceite de palma INDOLMASA para el análisis respectivo en el Laboratorio Natura S.A.C.



Figura 33. Determinación de la temperatura en los biodigestores.



Figura 34. Toma de muestra del efluente del primer biodigestor para análisis de DQO.



Figura 35. Muestra de efluente del primer biodigestor.



Figura 36. Toma de muestra del efluente del segundo biodigestor, para análisis de DQO.

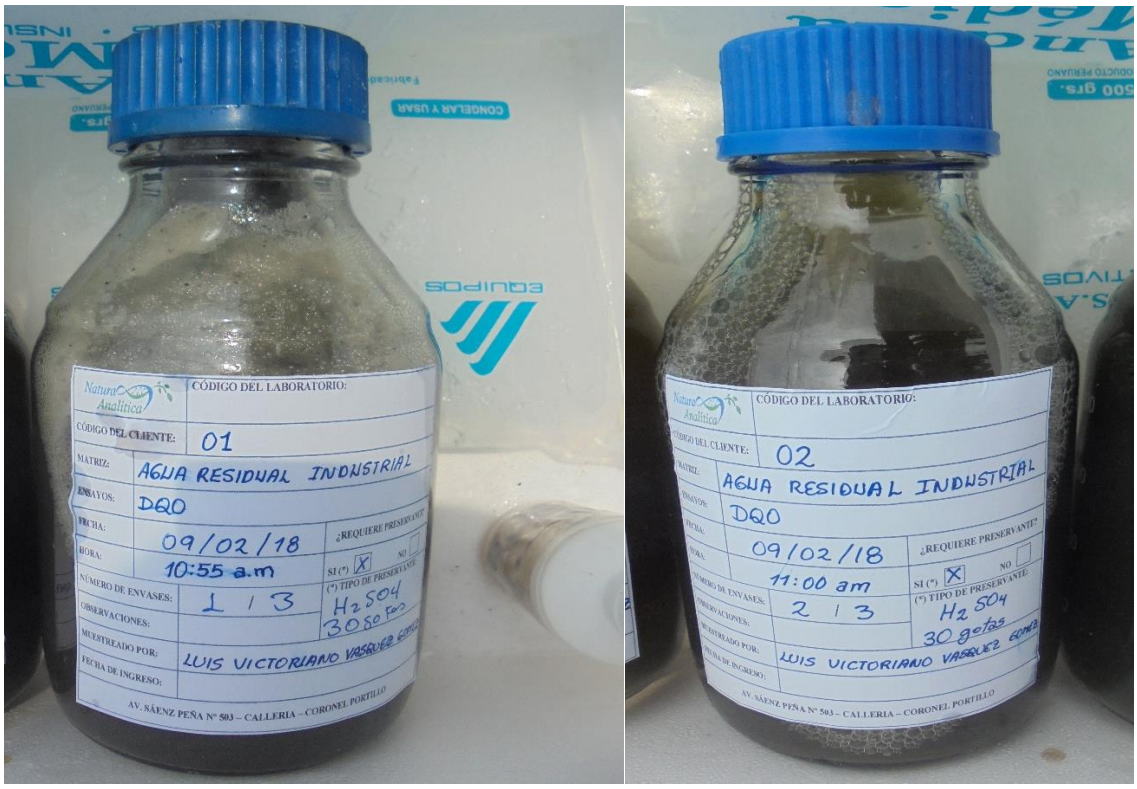


Figura 37. Rotulación de los frascos con efluente de cada biodigestor para el análisis respectivo en el Laboratorio Natura Analítica S.A.C.



Figura 38. Equipo ganador NEGASUS E.I.R.L.