



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN BIODIGESTOR EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE
SAN PEDRO SULA**

AUTORES:

DANIEL RODRIGO RIVERA RIVERA

DE CUENTA 21551040

JOSE RAFAEL ORELLANA RUIZ

DE CUENTA 21611204

ASESOR:

PhD. HÉCTOR VILLATORO

HONDURAS

SAN PEDRO SULA, CORTÉS

OCTUBRE, 2019

AGRADECIMIENTO

Primeramente, queremos agradecer a Dios por hacer esto posible, por darnos la vida y la salud a lo largo de nuestro transcurso de la carrera. Gracias a Dios estamos culminando una etapa de nuestras vidas que sin su amor y apoyo no podríamos haber hecho posible esta meta.

A nuestros papás Gerardo Rivera y Rafael Orellana, nuestras mamás Sandra Rivera y Gladys Ruiz por todo su amor, apoyo, sacrificios y confianza que depositaron en nosotros. Gracias por ayudarnos en nuestras etapas difíciles durante cada fase y problema que enfrentamos en la universidad. Nuestras familias lo son todo, nos han brindado su apoyo y refugio durante todos nuestros años en Unitec.

A todos los catedráticos que nos apoyaron, dándonos las enseñanzas y herramientas necesarias para ayudarnos en nuestra formación profesional. Queremos agradecer especialmente a la Ing. Alicia, la Arq. Paola y al Ing. Franklin por brindarnos su apoyo y por aguantar todas nuestras inquietudes. Les estaremos muy agradecidos hoy y siempre. A nuestro asesor, Ing. Héctor Villatoro por darnos apoyo, consejo y dirección necesaria para lograr realizar el trabajo, siempre exigiéndonos un mayor esfuerzo, ya que él sabía que nosotros somos capaces para llevar a cabo cualquier tarea. Suárez

RESUMEN EJECUTIVO

La necesidad de independencia de la red eléctrica y como apoyo al medio ambiente la energía por medio de la biomasa y biogás van en auge. La central de abastos de San Pedro Sula ve la necesidad de lograr cierta independencia de la red eléctrica nacional con el fin de mitigar el alto costo de facturación de energía eléctrica al final de cada mes, pues los ajustes trimestrales cada vez van en aumento creando incertidumbre en los abonados. La investigación se ha realizado en busca de determinar si es posible lograr cierta independencia utilizando como materia prima la materia orgánica desechada disponible en la central de abastos con el fin de determinar la posibilidad de producción de biogás para autoconsumo. La investigación fue desarrollada bajo un enfoque mixto. La cantidad de materia orgánica vertida y el inóculo de palma fueron designadas como variables independientes. Mientras que la producción de biogás, el nivel de pH, la temperatura en el biodigestor y la cantidad de materia orgánica vertida en los contenedores de la central de abastos fueron las variables dependientes. Como instrumentos principales se utilizaron el biodigestor ubicado en la universidad como laboratorio, el medidor pH, pirómetro y el analizador de biogás con el cual fueron realizados los controles periódicos para la producción de biogás. Como resultado fue descubierto que la producción de biogás era posible como la materia orgánica vertida tomando todos los pasos necesarios para la producción de la misma, el análisis obtenido por medio del analizador dio valores cercanos a los ideales. Como utilidad de esta investigación se indica la posibilidad de una instalación de un biodigestor en la central de abastos de SPS, también se toma a considerar que a quien desee implementar el proyecto con fines académicos pueda continuar la línea de investigación utilizando los mismos métodos utilizados.

EXECUTIVE SUMMARY

The need for independence of the electricity grid and as support for the environment, energy through biomass and biogas is booming. The central supply of San Pedro Sula sees the need to achieve some independence from the national electricity network in order to mitigate the act of billing electric power at the end of each month, as quarterly adjustments are increasingly high creating uncertainty in the subscribers. The research has been carried out in order to determine if it is possible to achieve some independence using as raw material the organic waste available in the supply center in order to determine the possibility of producing biogas for self-consumption. The research was developed under a mixed approach. The amount of organic matter discharged, and the palm inoculum were designated as independent variables. While the production of biogas, the pH level, the temperature in the digester and the amount of organic matter poured into the containers of the central supply were the dependent variables. The main instruments used were the biodigester located in the university as laboratory, the pH meter, pyrometer and the biogas analyzer with which the periodic controls for biogas production were carried out. As a result, it was discovered that the production of biogas was possible as the organic matter discharged by taking all the necessary steps for its production, the analysis obtained through the analyzer gave values close to the ideals. As a usefulness of this research, the possibility of installing a biodigester in the SPS supply center is indicated, it is also taken to consider that whoever wished to implement the project for academic purposes can continue the research line using the same methods used.

Índice de Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. PROCEDENTES DEL PROBLEMA	3
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.2. JUSTIFICACIÓN	7
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. INTRODUCCIÓN A LA BIODIGESTIÓN.....	10
2.2. HIDRÓLISIS.....	11
2.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	11
2.4. ETAPA ACIDOGÉNESIS	12
2.5. ETAPA ACETO-GÉNICA	12
2.6. ETAPA METANO-GÉNICA	12
2.7. ETAPA DE DESULFURACIÓN	13
2.8. CONDICIONES IDEALES PARA EL BUEN DESARROLLO DE LAS BACTERIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 14	
2.9. LA TEMPERATURA IDEAL INTERNA DEL BIODIGESTOR	14
2.10. TIEMPO DE RETENCIÓN DEL SUSTRATO EN EL BIODIGESTOR.....	16
2.11. RANGOS ÓPTIMOS DE PH EN EL BIODIGESTOR.....	16
2.12. LODO ANAEROBIO; INOCULO DE PALMA	16
2.13. INTRODUCCIÓN AL BIOGÁS	17
2.14. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	17
2.15. POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS.....	18

2.16.	APLICACIONES DEL BIOGÁS	19
2.17.	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	20
2.18.	HORNO	21
2.19.	BODIGESTOR INDUSTRIAL.....	21
2.20.	ELEMENTOS DE UN BODIGESTOR INDUSTRIAL.....	22
2.20.1.	LAGUNA ANAEROBIA	22
2.20.2.	REGISTRO DE LODO	23
2.20.3.	TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE BIOGÁS.....	23
2.21.	NORMAS AMBIENTALES PARA EFLUENTES DE UN BODIGESTOR – IMPACTO AMBIENTAL.....	23
2.22.	ANALIZADOR DE BIOGÁS (GFM 406).....	24
2.23.	EQUIPO POST TRATAMIENTO	25
III.	METODOLOGÍA	26
3.1.	ENFOQUE	26
3.2.	VARIABLE DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	27
3.4.	MATERIALES.....	27
3.5.	DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS	28
3.5.1.	BODIGESTOR	29
3.5.2.	MATERIA ORGÁNICA	30
3.5.3.	INÓCULO DE PALMA	31
3.5.4.	TRITURADORA Y SUSTRATO.....	32
3.5.5.	BOMBA RECIRCULADORA.....	32
3.5.6.	MEDIDOR PH	33
3.5.7.	CAL.....	34
3.5.8.	BOMBA DE EXTRACCIÓN	35
3.5.9.	FLUJÓMETRO	36
3.5.10.	ANALIZADOR DE BIOGÁS	37
3.5.11.	PIRÓMETRO Y BALANZA	37

3.5.12.	HORNO THELCO	38
3.6.	PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	40
3.6.1.	AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LAS AUTORIDADES DE LA CENTRAL DE ABASTOS	41
3.6.2.	PREPARACIÓN DEL BIODIGESTOR.....	41
3.6.3.	LLENADO CON INÓCULO DE PALMA.....	42
3.6.2.	CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA VEGETAL	43
3.6.3.	CONTROL DEL BIODIGESTOR Y BACTERIA.....	44
3.6.4.	TABULACIÓN DE DATOS Y OBSERVACIÓN	46
3.7.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	48
3.8.	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN	49
3.9.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	49
3.10.	LIMITANTES DEL ESTUDIO	51
IV.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.1.	DESARROLLO DEL BIOGÁS	52
4.2.	ANÁLISIS DEL BIOGÁS.....	54
4.3.	REGISTRO DE BIOGÁS EN LA LONA DEL BIODIGESTOR.....	55
4.4.	ANÁLISIS DE PH Y TEMPERATURA.....	56
4.5.	UBICACIÓN FAVORABLE PARA UN BIODIGESTOR	59
4.6.	CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE.....	61
4.7.	PARÁMETROS IDEALES PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS	70
4.8.	CÁLCULO DE MATERIA SECA DISPONIBLE EN LA MATERIA ORGÁNICA VEGETAL	71
4.9.	POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	74
4.10.	ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA.....	77
4.11.	AHORRO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	78
4.12.	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR	80
4.13.	ANÁLISIS FINANCIERO	81
4.14.	ANÁLISIS AMBIENTAL - POST TRATAMIENTO; EFLUENTES.....	85
4.15.	EXCEDENTES DE BIOGÁS.....	88

4.16. TRATAMIENTO DE EFLUENTES.....	89
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES	93
VII. APLICACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	94
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	95
IX. ANEXOS	99
9.1. ANEXO 1. ENTREVISTA	99
9.2. ANEXO 1. ENTREVISTA II.....	100
9.3. ANEXO 2. ENCUESTA.....	101
9.4. ANEXO 3. PROCEDIMIENTO PARA MATERIA SECA.....	101
1. PROCEDURE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2. Ts CALCULATION	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
9.5. ANEXO 4. ANÁLISIS DE CALIDAD DE BIOGÁS.....	103
9.6. ANEXO 5. FLUJO DE CAJA.....	108

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proceso para la producción de biogás.....	2
Ilustración 2: Gráfica de consumo de energía eléctrica en la central de abastos mes a mes.....	5
Ilustración 3: Gráfica Potencia demandada en la central de abastos.....	6
Ilustración 4: Etapas del proceso de la digestión anaeróbica	13
Ilustración 5: Gráfica Tasa de crecimiento según la bacteria.....	15
Ilustración 6: Valores dados para el biogás equivalentes en energía	18
Ilustración 7: Aplicaciones del biogás	19
Ilustración 8: Filtro seco para el ácido sulfhídrico.....	20
Ilustración 9: Horno Thelco modelo 19	21
Ilustración 10: Biodigestor Puxin 260m ³	22
Ilustración 11: Apartados que constituyen la Evaluación de Impacto Ambiental.....	24
Ilustración 12: Analizador de Biogás modelo GFM 406.....	25
Ilustración 13: Interacción de los elementos del proyecto.....	29
Ilustración 14: Biodigestor Utilizado modelo Puxin 1.2m ³	30
Ilustración 15: Materia Orgánica utilizada en la investigación.....	31
Ilustración 16: Inóculo de palma	31
Ilustración 17: Sustrato y trituradora utilizada	32
Ilustración 18: Bomba recirculadora.....	33
Ilustración 19: Medidor de pH	34
Ilustración 20: Cal	35
Ilustración 21: Bomba extractora.....	36
Ilustración 22: Flujómetro BF-2000.....	37
Ilustración 23: Balanza y pirómetro utilizaos en la investigación.....	38
Ilustración 24: Horno ubicado en Unitec.....	39
Ilustración 25: Pasos para la producción de biogás.....	40
Ilustración 26: Los pasos de la metodología para la producción de biogás	41
Ilustración 27: Inóculo de palma	43
Ilustración 28: Recirculación del sustrato y análisis de muestra de pH	45

Ilustración 29: Procedimientos para identificar la materia orgánica disponible	48
Ilustración 30: Progreso del biogás/ Semana 2 Progreso del biogás/ Semana 3	52
Ilustración 31: Progreso del biogás/semana 4 Progreso del biogás/Semana 5	53
Ilustración 32: Progreso del biogás/Semana 6.....	53
Ilustración 33: Resultados obtenidos del análisis del biogás	55
Ilustración 34: Gráfica del pH promedio.....	57
Ilustración 35: Temperatura promedio por semana	58
Ilustración 36: Área del Proyecto del biodigestor.....	59
Ilustración 37: Logística del transporte de la materia prima hacia el biodigestor.....	60
Ilustración 38: Ubicación del proyecto del biodigestor	60
Ilustración 39: Momentos previos a la obtención de las muestras.....	62
Ilustración 40: Peso de las bolsas y la basura sacada de las bolsas.....	63
Ilustración 41: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 1	64
Ilustración 42: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 2	65
Ilustración 43: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 3	66
Ilustración 44: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 4	67
Ilustración 45: Promedio materia orgánicos e inorgánicos.....	68
Ilustración 46: Imagen de ambos contenedores utilizados para la investigación	70
Ilustración 47: Proceso para encontrar el porcentaje de Materia Seca	72
Ilustración 48; Muestra de materia orgánica y la muestra picada.....	73
Ilustración 49: Peso de la muestra y el horno ya con la muestra.....	73
Ilustración 50: Peso del cubilete % peso de la muestra horneada	74
Ilustración 51: Motor de combustión interna.....	77
Ilustración 52: Porcentaje de generación y demanda	79
Ilustración 53: Área del dimensionamiento del biodigestor.....	81
Ilustración 54: Categorización de impacto según el tipo de proyecto	86
Ilustración 55: Proceso de autorización para un proyecto categoría 2	87
Ilustración 56: Muestra del lodillo sacado del biodigestor	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registro de datos conforme al año 2018 y 2019.....	7
Tabla 2: Rangos de temperatura y sus tiempos de fermentación	15
Tabla 3: Tiempo de retención con sus características	16
Tabla 4: Valores ideales de las concentraciones en el biogás.....	17
Tabla 5: Producción de biogás de algunos residuos vegetales.....	18
Tabla 6: Diferencias del biogás entre otros gases	19
Tabla 7: Concentración máximas de efluentes de aguas residuales según la norma nacional	24
Tabla 8: Vegetales encontrado y utilizados en el proceso de alimentación.....	44
Tabla 9: Ejemplo de bitácora durante el proyecto.....	47
Tabla 10: Porcentaje de gases en el biogás obtenido.....	54
Tabla 11: Resultado obtenidos del flujómetro.....	56
Tabla 12: Promedio de PH entre semana.....	57
Tabla 13: Promedio de temperatura promedio entre semana	58
Tabla 14: Valores de los pesos obtenidos en cada bolsa.....	63
Tabla 15: Promedio de consumo energía eléctrica	78
Tabla 16: Ahorro anual, sin inversión del proyecto	80
Tabla 17: Inversión total	83
Tabla 18: Costos de operación y mantenimiento anuales.....	84
Tabla 19: Parámetros de entrada	84
Tabla 20: Parámetros de salida	85

ÍNDICE DE FORMULAS

Ecuación 1- Cantidad necesario de inóculo.....	42
Ecuación 2- Carga organica	43
Ecuación 3- Desechos organicos removidos.....	61
Ecuación 4- Materia organica desechada por mes	68
Ecuación 5- Promedio de llenado por contenedor.....	69
Ecuación 6- Materia organica desechada al mes.....	69
Ecuación 7- Conversion de kilogram a metano por metro cubico	71
Ecuación 8- Porcentaje de materia seca.....	72
Ecuación 9- Porcentaje de materia seca.....	75
Ecuación 10 - Materia orgánica aprovechable.....	75
Ecuación 11- Kilogramos removidos por biodigestor.....	75
Ecuación 12-Produccion de biogas.....	76
Ecuación 13- Potencia disponible 1	76
Ecuación 14- Potencia Disponible 2.....	76
Ecuación 15- Energia electrica generada	77
Ecuación 16 – Porcentaje suministrado a la central de abastos.....	79
Ecuación 17- Dimensionamiento del biodigestor	80

I. INTRODUCCIÓN

La central de abastos de San Pedro Sula es un mercado dirigido por la empresa privada EMECO. En el cual los agricultores llegan a ofrecer sus productos y esto abastece a nivel macro a San Pedro Sula. Es una zona de comercio donde van varias empresas, personas, a comprar sus productos para sus restaurantes, casas, etc.

Uno de los problemas que presenta la central de abastos es la facturación de energía eléctrica al final de mes el cual es un alto costo, rondando casi el millón de lempiras, este es un problema debido a las quejas que presentan los inquilinos en la central de abastos. La central de abastos tiene a fin de mes un ingreso bruto de tres millones de lempiras. La Lic. Margoth afirma "La cantidad de basura vertida sobre los contenedores es bastante, de 9-18 toneladas son llevados por los camiones de Sulambiente diariamente". (M, Armijo, comunicación especial, 20 de julio de 2019).

Para poder aprovechar los desperdicios orgánicos y dar una alternativa para reducir la factura de la energía eléctrica se va a llevar a cabo un estudio de factibilidad de un biodigestor usando los desperdicios que tienen diariamente. Se va a poder generar biogás, en este caso el metano que liberaría la materia orgánica como por ejemplo lechuga, repollo, tallos de rábano, todo lo que pueda ser digerido por los microorganismos. Generando biogás siendo utilizado para la generación de energía para autoconsumo.

A continuación, se muestra el proceso para la producción de biogás acorde a como se trabajó durante el periodo de investigación. Se realizó el mismo proceso diariamente conforme al avance de cada semana.

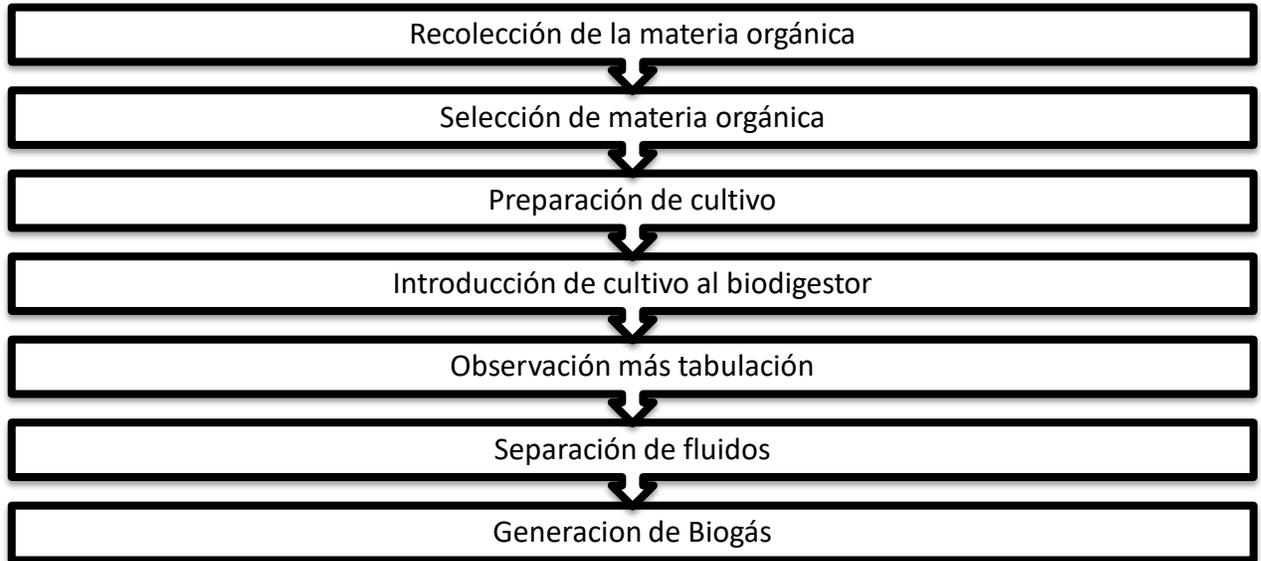


Ilustración 1: Proceso para la producción de biogás

Fuente: Elaboración propia

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PROCEDENTES DEL PROBLEMA

Grupo Alanza es una empresa privada orientada a buscar soluciones para el desarrollo del país, actualmente pasó de ser EMECO a Alanza. La empresa brinda diferentes tipos de aportaciones destacando Construcción, Energía, Finanzas y Tratamiento de Aguas. En sus 30 años de experiencia han logrado tomar proyectos brindando una solución confiable y eficaz para el desarrollo del país, respetando los recursos naturales y sustentando el aprovechamiento generando bienestar a la sociedad hondureña. (Alanza, 2019).

La Central de Abastos de San Pedro Sula o Abastos de Sula forma parte de Grupo Alanza ubicada en la 27 Calle S.O. frente a Colonia Luisiana. Abastos de Sula es una zona donde mayoristas de toda Honduras puedan llegar y ofrecer sus productos a los inquilinos de la central. Contando con calidad y frescura a toda persona que desee comprar los productos, como vegetales, frutas y carnes.

La central cuenta con dos galpones, y cuatro módulos dentro de los cuales 240 Inquilinos inciden. Cabe destacar que se tiene pensado una futura ampliación. Dentro de dichas instalaciones se cuenta con cuartos fríos, cafeterías y oficinas bancarias.

Actualmente toda la energía eléctrica es comprada directamente a la ENEE no se cuenta con alternativas de generación de energía.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Abastos de Sula cuenta con un alto costo de energía eléctrica en sus instalaciones. El suministro de energía es recibido las 24 horas al día los 365 días del año, debido al control de temperatura que deben poseer los cuartos fríos. El cargo [L/kWh] es de 5.3266 con un consumo promedio de 160,386.67 [kWh] y una demanda de potencia promedio de 220.56 [kW]. Debido a

estas circunstancias la central de abastos busca la manera de reducir su consumo con alternativas que logren mitigar su costo de energía, una de ellas un biodigestor con la producción de biogás para la generación de energía eléctrica.

1.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Uno de los mayores problemas que presenta la central de abastos es el elevado costo de energía eléctrica que deben pagar de mes a mes. Como establecido con la Licenciada Margoth Armijo Gerente Operaria de la central, el final de mes es una consternación debido a cuanto saldrá la factura de mes. Debido a las constantes quejas que los inquilinos presentan a la hora de pago, debido a que la factura de energía eléctrica se divide entre todos los locatarios en la central de abastos. Varios de los inquilinos presentes en la central, solo cuentan con ciertos aparatos eléctricos y el saldo a pagar es elevado, puesto que ahí surgen quejas. Cada mes el valor de consumo de energía eléctrica oscila poco de mes a mes, pero el costo de energía se reflejado en gran medida conforme al paso de los meses, llegando casi a pagar el millón de lempiras por su demanda de energía eléctrica. Aparte de este problema ha habido constantes cortes de energía, que se presentan semanalmente, presentando un problema para los inquilinos que poseen cuartos fríos. Conforme a este problema, la central está buscando alternativas renovables, amigables con el ambiente, y confiables para reducir su consumo de energía eléctrica. Como establecido la energía activa que consume la central es de 179.4 kWh y reactiva 83.72 kVArh, al ser un consumo comercial se toman en cuenta otros factores a la hora de facturación.

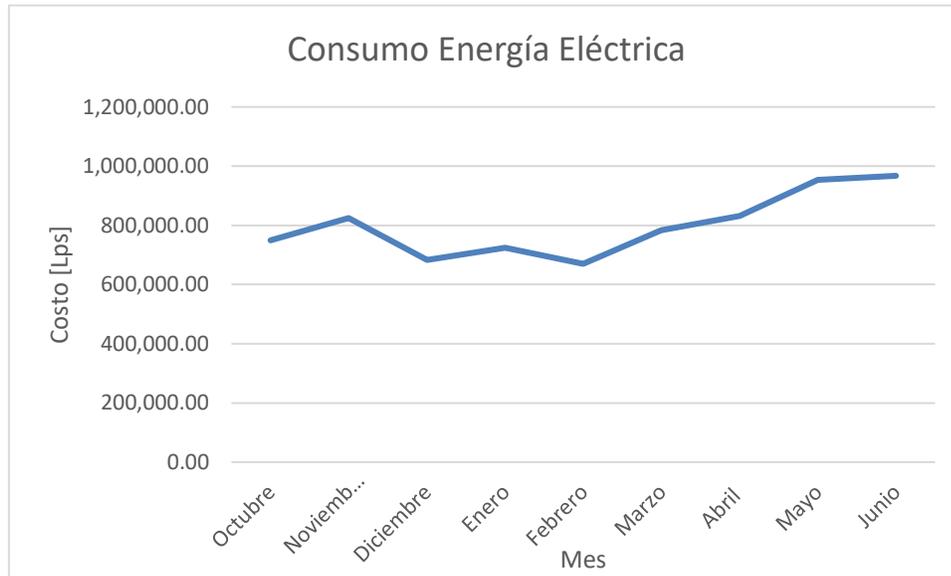


Ilustración 2: Gráfica de consumo de energía eléctrica en la central de abastos mes a mes

Fuente: Central de Abastos SPS

En la ilustración dos se puede apreciar como el consumo de energía eléctrica en la central de abastos fue aumentando de manera considerable, llegando a casi el millón de lempiras en el mes de junio del año actual. Cubriendo el 30% de los ingresos brutos de la central de abastos. Generando un problema mes a mes, pues la energía eléctrica es una necesidad permanente para la central de abastos.

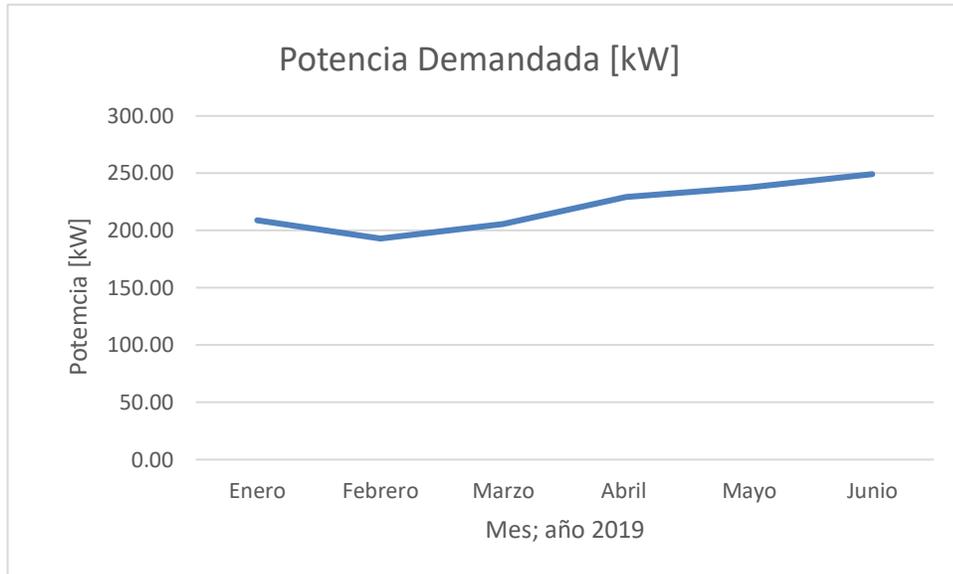


Ilustración 3: Gráfica Potencia demandada en la central de abastos

Fuente: Central de abastos SPS

En la ilustración tres se puede apreciar como la demanda de potencia en la central de abastos ha ido en aumento, llegando a 250 (kW) el mes de junio del año actual. Su demanda de energía se ha incrementado, pues se debe cubrir su confort y la refrigeración de sus productos para garantizar la frescura.

Tabla 1. Registro de datos conforme al año 2018 y 2019.

Mes	Costo de Energía [Lps]	E. Activa [kWh]	Costo Unitario del [L/kWh]	E. Reactiva [kVArh]
Octubre 2018	749,833.56	156,450.00	4.7928	77,000.00
Noviembre 2018	825,200.15	160,080.00	4.7928	78,680.00
Diciembre 2018	683,508.07	140,300.00	4.7928	68,080.00
Enero 2019	724,789.67	150,420.00	4.7373	74,520.00
Febrero 2019	669,865.97	138,920.00	4.7373	67,620.00
Marzo 2019	783,720.19	162,840.00	4.7373	75,200.00
Abril 2019	832,319.85	154,100.00	5.3266	75,440.00
Mayo 2019	953,434.82	176,640.00	5.3266	84,180.00
Junio 2019	967,349.30	179,400.00	5.3266	83,720.00

Fuente: Central de Abastos SPS

En la tabla uno se registró los datos de consumo, costo y costo unitario en lempiras de la energía eléctrica. Por medio de las facturas de energía eléctrica de la central de abastos se logró recabar la información e interpretarlos en una tabla. Con el fin apreciar en mejor manera el aumento gradual de la energía y por ende el costo en lempiras.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN

El constante aumento de la energía eléctrica y los ajustes trimestrales por parte de la CREE, ha generado incertidumbre a Grupo ALANZA, han causado que se vean alternativas que ayuden a aliviar la demanda que la central de abastos genera. Tomando en cuenta la futura expansión que la central de abastos requerirá debido a la demanda interna de productos frescos y de calidad que vendedores tanto de SPS como de los alrededores exigen. La necesidad de suplir la energía eléctrica de manera indefinida ha obligado a los dirigentes y gerente de la central a buscar alternativas renovables, aprovechando recursos propios, como la materia orgánica (Vegetales, Frutas, Carnes) que se desperdicia. Se propone que un biodigestor con una capacidad y volumen

determinado pueda ayudar a suplir un porcentaje de la demanda energética de la central, utilizando materiales propios para la elaboración de biogás y posteriormente su uso en la generación de energía eléctrica para abastecer la central de abastos.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué tipo de materia orgánica hay disponible en la central de abastos? ¿Cuáles verduras y frutas son aptas para el consumo del biodigestor en la central de abastos?
2. ¿Cuánto es la producción de materia orgánica disponible en la central de abastos?
3. ¿Cuánta cantidad de biogás se podría producir en el biodigestor?
4. ¿Cuál es la generación de energía eléctrica del biodigestor en base a la cantidad de biogás que se podría producir?
5. ¿Cuál es la demanda energía eléctrica de la central de abastos de SPS? ¿Cuánto se podría ahorrar de energía eléctrica con un biodigestor?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de factibilidad técnico-financiero de un biodigestor, cuya producción de biogás sea utilizada para la generación de energía eléctrica para autoconsumo en la central de abastos de San Pedro Sula con el fin de reducir su consumo energético. Se determinará su factibilidad utilizando un analizador de biogás, para determinar la cantidad exacta de metano que puede producir el biodigestor. La cantidad de gas analizada sea suficiente para abastecer un porcentaje de energía eléctrica para la central de abastos.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar la materia orgánica disponible dentro de la central de abastos, seleccionar las verduras y frutas aptas para el consumo del biodigestor en la central de abastos.
2. Cuantificar la producción de materia orgánica disponible en la central de abastos.
3. Estimar la cantidad de biogás que se podría producir en el biodigestor.

4. Estimar la generación de energía eléctrica del biodigestor en base a la cantidad de biogás que se podría producir.
5. Determinar la demanda de energía eléctrica de la central de abastos de SPS para evaluar cuánta energía se podría ahorrar con un biodigestor.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN A LA BIODIGESTIÓN

La biodigestión también conocida como digestión anaeróbica, consiste en el proceso biológico complejo, el cual es desarrollado por microorganismo anaerobios. Anaeróbica significa la capacidad de desarrollarse o vivir sin la presencia de oxígeno. (Merino, 2015). Estos diversos microorganismos trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica en gas. El resultado de esa descomposición es el biogás, la materia orgánica debe estar en pequeñas proporciones para favorecer la correcta digestión de la bacteria sobre la materia. (Putri, 2019).

El proceso de biodigestión conlleva una serie de pasos que permiten como resultado el biogás y bioabono. La sucesión de bacterias dentro de cada proceso conlleva a la generación de biogás, cada etapa contiene ciertos parámetros que deben permitirse para la realización del descompuesto orgánico. La producción final de biogás posee como resultado un compuesto de elementos como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y oxígeno (O_2). (Putri, 2019).

1. Cadenas Largas

Largas cadenas de carbonos

Compuesto de policarbonatos polímeros, polisacáridos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos

2. Cadenas Medias Acidogénesis

a. Cadenas de carbono medio

i. Oligómeros y monómeros (azúcar, alcohol, ácidos grasos, glicerol, aminoácidos, compuestos aromáticos).

3. Cadenas Cortas

a. Cadenas cortas de carbonos

i. Ácidos volátiles libres FVA (ácidos propiónicos, butírico y valérico).

4. Cadenas Pequeñas

a. Pequeñas cadenas de carbono

i. Acido (acético, acetato, formiato).

5. Mono compuestos

a. Compuesto de mono carbonato

- i. Un carbono (metano, Dióxido de carbono, monóxido de carbono)

2.2. HIDRÓLISIS

La primera etapa, la hidrólisis o cadenas largas (enzimas, azúcares, grasas) es la primera fase del proyecto en sí, en este proceso las cadenas largas que conforma la materia orgánica se están destruyendo en cadenas medias por un proceso natural. (Gaido, 2019). Como ejemplo se puede tomar una fruta que, al caer de su árbol, el impacto de choque hace que la fruta libere enzimas y aceites que comienzan su descomposición. Este proceso tiene ciertos requisitos algunos mencionados a continuación (Moreno, 2011).

1. Temperatura Ambiente: 21 – 44 °C
2. Viable con pH ácidos <7
3. Tiempo
4. Cantidad de DQO (Demanda Química de Oxígeno)

2.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda química de oxígeno es un parámetro utilizado para determinar la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (M, 2007). Este proceso se lleva a cabo para lograr saber con exactitud cuánta demanda química requiere la materia orgánica para poder concretar el proceso de biodigestión. Este equivale a PPM kg/m³ (Partes por millón por kilogramo entre metro cubico).

En la hidrólisis las bacterias se degradan de manera rápida, lo cual causa que el tiempo de retención sea menor. La materia orgánica debe estar en cantidades diminutas para que no haya necesidad de un sobreesfuerzo, manteniendo una temperatura ambiente causa que la fase de hidrólisis sea más corta (Nogues & Galindo, 2019).

2.4. ETAPA ACIDOGÉNESIS

En la etapa de acidogénesis, los productos intermedios se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Este proceso es realizado por un grupo de bacterias, las hidrolíticas- ácido génicas y las acetogénicas las cuales hidrolizan y fermentan las cadenas complejas de la materia orgánica en cadenas más simples. Estas bacterias pueden consumir oxígeno molecular, no crecen en presencia del oxígeno. (Fases de la digestion anaerobica, 2007). En este proceso el crecimiento bacteriano es rápida, al igual también que no hay una reducción de la DQO de la materia orgánica. Se debe tener presente estos parámetros en la etapa de acidogénesis;

1. pH 5.5 – 6.7
2. Tiempo de retención
3. Tipo de sustrato o materia orgánica

2.5. ETAPA ACETO-GÉNICA

En la etapa aceto-génica, se desarrollan bacterias aceto-génicas las que realizan la degradación de los ácidos orgánicos donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos de la acidogénesis se degradan produciendo ácido acético. Este proceso libera los productos como hidrógeno y dióxido de carbono. En esta fase se lleva a cabo la fermentación de ciertos productos. (Fases de la digestion anaerobica, 2007).

2.6. ETAPA METANO-GÉNICA

La última fase de la biodigestión toma parte en la metano-génico, la descomposición de la materia orgánica en las condiciones anaeróbicas. las bacterias en esta fase transforman el dióxido de carbono (CO_2) a metano (CH_4). En esta fase se produce el 90% del total del metano que el biodigestor produce. Los metanógenos microorganismos conocidos utilizan el carbono para producir metano. (Fases de la digestion anaerobica, 2007).

2.7. ETAPA DE DESULFURACIÓN

Esta última etapa, el producto final dentro del biodigestor es biogás y bioabono. Ambos productos explotables para beneficio de generación de energía eléctrica o como abono para cultivos o ganado. La etapa de desulfuración consiste en limpiar el biogás, pues consiste en utilizar oxígeno para reducir los niveles de sulfuro. Pues el ácido sulfhídrico es uno de los productos finales en la biodigestión. Teobacilus esta bacteria toma el oxígeno del aire y toma el H₂S para generar sulfato H₂SO₄, separando las moléculas hasta dejar sólido de sulfato. (Gaido, 2019).

A continuación, se muestra un diagrama esquemático de los procesos de la biodigestión.

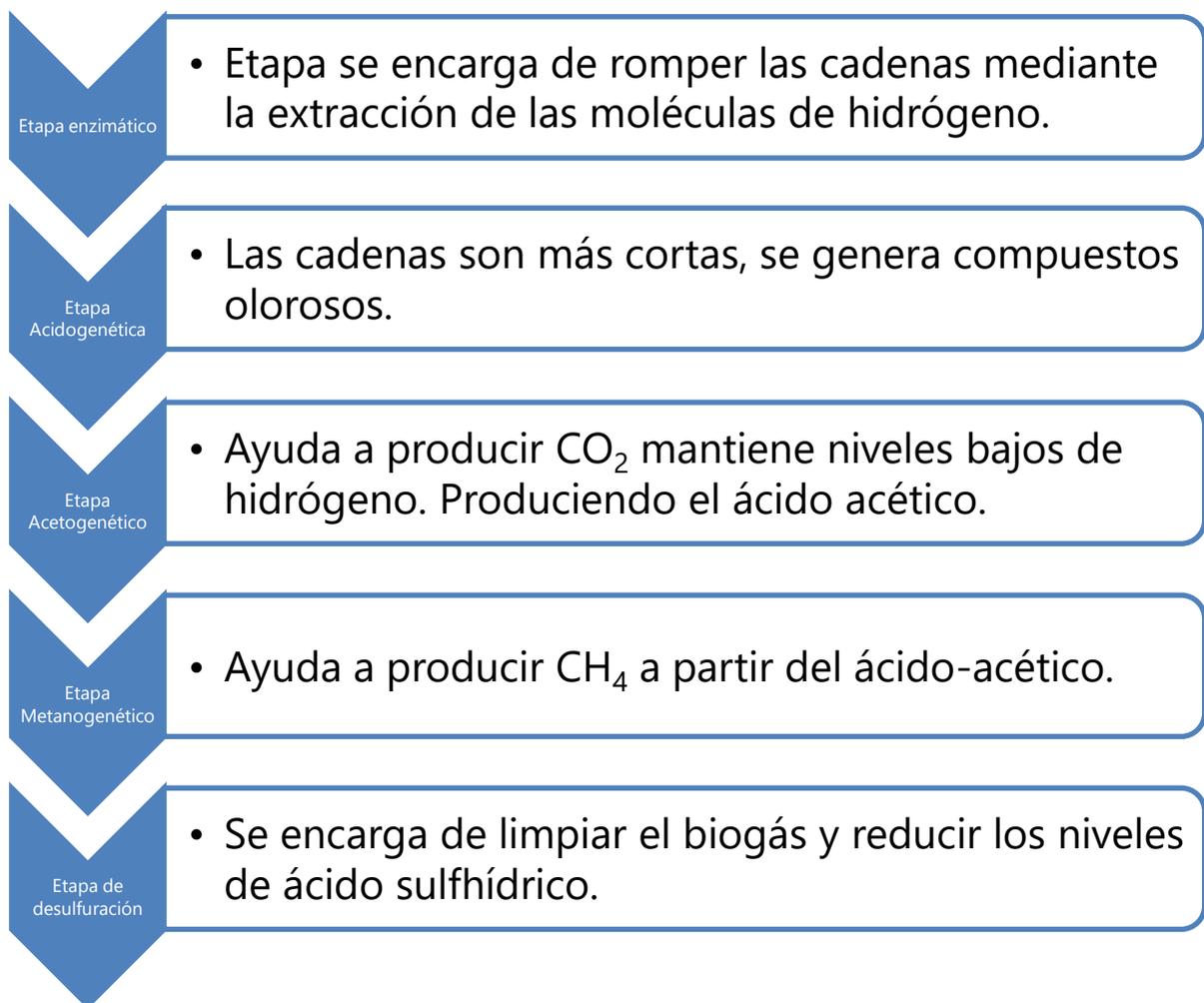


Ilustración 4: Etapas del proceso de la digestión anaeróbica

Fuente: (Fases de la digestión anaeróbica,2007).

2.8. CONDICIONES IDEALES PARA EL BUEN DESARROLLO DE LAS BACTERIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para el buen desarrollo de las bacterias para la producción de biogás se deben considerar varios factores. Debido a que estos factores afectan de una u otra manera la producción de biogás. Estas bacterias son muy susceptibles a cambios bruscos en su entorno y se debe prestar mucha atención a su desarrollo. (Moreno, 2011)

La siguiente lista muestra los factores importantes para un entorno amigable para la bacteria (Gaido, 2019).

1. Humedad mayor a 90%
2. pH Min 6.9; Max 8.5
3. Temperatura: 21-44 °C
4. Relación de carga orgánica 1kg/MO/día

2.9. LA TEMPERATURA IDEAL INTERNA DEL BIODIGESTOR

La temperatura interna ideal para el buen desarrollo de la bacteria y la producción de biogás es un factor muy importante que cuidar, debido a que las bacterias pueden perecer si no se mantiene una temperatura óptima para su desarrollo. Lo que haría que la generación de biogás se detenga. "El ingeniero Gaido exclamó que el control del biodigestor y su mantenimiento debe ser constante para evitar varianzas en su temperatura interna." (M. Gaido, comunicación personal, 29 de julio de 2019).

Para operar un biodigestor hay diferentes rangos de temperaturas para la bacteria metanogénica, los cuales deben ser considerados. A continuación, una ilustración que nos describe los rangos óptimos por tipo de bacteria.

Tabla 2: Rangos de temperatura y sus tiempos de fermentación

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: Lagrange, 1979.

Fuente: (Moreno, 2011)

Los rangos establecidos Psicrofílico, Mesofílico, y termofílico son utilizados para indicar qué tipo de bacteria existe y su rango de temperatura óptimo.

El rango psicofísico es un área muy poco viable y estudiado debido al gran tamaño que debe tener el reactor(biodigestor). La bacteria presenta problemas de estabilidad de temperatura que los otros rangos. El rango mesofílico es el más utilizado, y en la actualidad no se le está dando más cabida al rango termofílico debido a la inestabilidad y las condiciones de temperatura elevada difícil de encontrar de manera natural en la tierra. (Moreno, 2011).

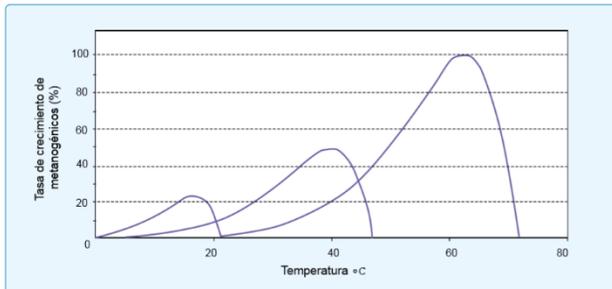


Ilustración 5: Gráfica Tasa de crecimiento según la bacteria

Fuente: Manual del Biogás, Speece 1996

En la gráfica se puede apreciar la tasa de crecimiento según el tipo de bacteria metanogénica en base a su temperatura afecta la eficiencia de la bacteria y su capacidad de producir metano. Las bacterias pueden soportar temperaturas bajas, pero no tienen una alta tolerancia a altas temperaturas. Su eficiencia aumenta, para las bacterias mesofílicas la temperatura óptima para su buen funcionamiento y producción de metano ocurre en los 37 °C, así como la temperatura excelente en promedio es del cuerpo humano para su buen funcionamiento. (Gaido, 2019).

2.10. TIEMPO DE RETENCIÓN DEL SUSTRATO EN EL BIODIGESTOR

El tiempo de retención es el tiempo en que la solución o sustrato y el agua pasan en el interior del biodigestor. Este tiempo de retención es medido en días, dentro del biodigestor se van realizando los procesos de biodigestión para la producción de biogás. El tiempo de retención varía de una zona a otra, pero por propósitos de investigación la zona a estudiar se verá a continuación.

Tabla 3: Tiempo de retención con sus características

Tiempo de Retención	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas Ejemplo Venezuela, América Central

Fuente: (Varnero M. V., 2011)

2.11. RANGOS ÓPTIMOS DE PH EN EL BIODIGESTOR

Para una buena producción de biogás se debe tener en cuenta y controlar los niveles de pH dentro del biodigestor. El pH óptimo debe ser de 7 o ligeramente mayor debido a que el pH según Ecovidasolar refiere a la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia, una medida de acidez o alcalinidad. "Federico Romero declaró que Idealmente el pH puede variar desde 6.8 hasta llegar 8.5". (Romero F. O., 2017). Concluyendo con los valores se afirma que no puede afectar a la bacteria productora de metano.

2.12. LODO ANAEROBIO; INOCULO DE PALMA

El inculo de la palma es la parte biológica que consume las cadenas de carbohidratos, se encarga de romper las cadenas. "El ingeniero Méndez afirmó el inculo incita a la bacteria para la producción de metano, acelerando el proceso de biodigestión". (W, Méndez, comunicación personal, 22 de julio de 2019). El inculo puede provenir de diversas materias como la palma, estiércol de ganado, y asnos.

2.13. INTRODUCCIÓN AL BIOGÁS

El biogás es uno de los productos resultantes de la biodigestión, está compuesto por diferentes gases que se forman cuando se descompone la materia orgánica, por las bacterias encontradas dentro del biodigestor. Los gases más encontrados en el biogás y más importantes son el metano, dióxido de carbono, oxígeno y ácido sulfhídrico estos dos últimos encontrados en pequeños porcentajes. (Moreno, 2011).

Tabla 4: Valores ideales de las concentraciones en el biogás

Gas	Valor ideal
Metano	60-70 %
Dióxido de carbono	30-45 %
Ácido sulfúrico	Máximo 1 ppm
Oxígeno	Máximo 1 ppm

Fuente: Manual del Biogás

2.14. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Toda materia orgánica puede producir biogás si es sometido a la fermentación anaeróbica correcta, y que las condiciones sean permisibles. La cantidad de biogás y la calidad dependerá de su composición, los niveles de nutrientes deben estar en niveles óptimos para el buen desarrollo de la metano-bacteria. El carbón y nitrógeno son las principales fuentes de alimentos de la bacteria, encontradas en toda materia orgánica, variando los niveles de concentración de una materia orgánica a otra. (Varnero M. V., 2011).

A continuación, se puede visualizar en mejor manera la producción de biogás a partir de algunos residuos vegetales.

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /Ton	m ³ /ha
Cereales (paja)				
Trigo	3.3	123:1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Tabla 5: Producción de biogás de algunos residuos vegetales

Fuente: (Moreno, 2011)

2.15. POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS

El biogás específicamente el metano es un gas combustible con un alto contenido energético el cual se genera de manera natural a partir de la descomposición de la materia orgánica. Contiene grandes beneficios no solo debido a sus aplicaciones sino debido a su poder calorífico a diferencia de los otros gases como oxígeno, hidrógeno, dióxido de carbono (Romero G. , 2017).

Ilustración 6: Valores dados para el biogás equivalentes en energía

Biogás [1m ³]	Poder calorífico
Equivalente Energía	5 [kWh/m ³]

Fuente: Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico, BID.

Características de biogás y comparación con otros gases						
Tipos de gas	Unidad	Biogás	Gas natural	Propano	Metano	Hidrogeno
Poder calorífico	kWh/m3	6	10	26	10	3
Peso específico	kg/m3	1,25	0,7	2,01	0,72	0,09
Relación a la densidad del aire		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura de encendido	°C	700	650	470	600	585
Contenido de oxígeno para explosión	Vol.-%	6 - 12	4,4 - 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 7

Tabla 6: Diferencias del biogás entre otros gases

Fuente: (Romero G. , 2017)

2.16. APLICACIONES DEL BIOGÁS

Las aplicaciones del biogás pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica, generación de energía con turbinas de vapor, rellenos sanitarios los cuales aprovechan el biogás para la quema, energía eléctrica y usos de la cocina. Se utilizan en lugares o zonas de difícil acceso para la red eléctrica. (Energía, 2017)

A continuación, se puede apreciar el uso y las aplicaciones que el biogás puede proveer en diversos rubros de energía y confort.

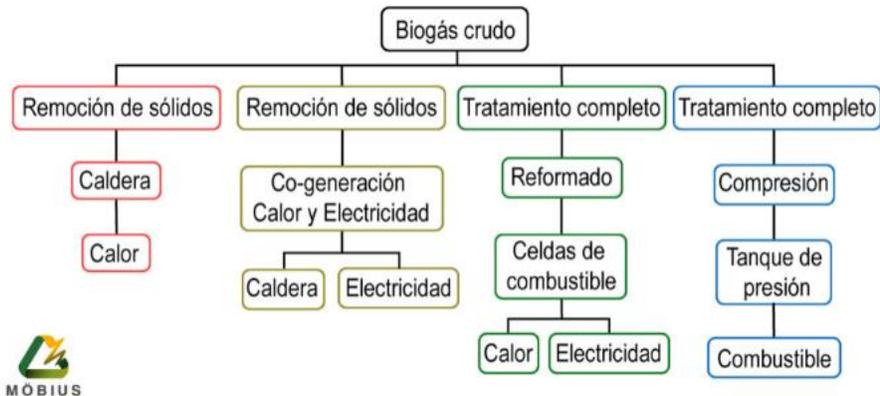


Ilustración 7: Aplicaciones del biogás

Fuente: Manual del biogás. Ministerio de Chile-gobierno de energía

2.17. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El biogás tiene excelentes aplicaciones para la generación de energía eléctrica debido a que trae grandes beneficios para el usuario. Con fines didácticos y para el mejor aprovechamiento se utilizaría un sistema combinado de calor y electricidad, el cual aumentaría la eficiencia del proceso. Turbinas de gas, motores de combustión interna de 25 hasta 100kW pueden ser utilizadas a partir del biogás que el biodigestor generaría. (Energia, 2017).

Como fuente principal se utilizaría un motor de combustión interna, el cual utiliza el biogás como combustible primario, siendo una solución práctica. Tomando en cuenta la utilización de un filtro seco (metal), o químico para que el ácido sulfhídrico (H_2S) no corroa el motor de combustión. (EMISON, Estudio de tratamiento gases con SH_2 , 2019)



Ilustración 8: Filtro seco para el ácido sulfhídrico

Fuente: Propia

2.18. HORNO

Un horno de laboratorio es un equipo en el cual se pueden efectuar pruebas de fabricación o transformación de cualquier tipo de pieza. (Estufas y hornos para laboratorio: para análisis durante fabricación o transformación de materiales, 2019). El horno puede ser modificado según el usuario lo desee para completar cualquier análisis. Se deberá tener cuidado en el uso del equipo, utilizando el equipo de seguridad apropiado.



Ilustración 9: Horno Thelco modelo 19

Fuente: Cole-Palmer Scientific Experts

2.19. BIODIGESTOR INDUSTRIAL

Biodigestor industrial es un tanque o cisterna hermética, los cuales están sellados para que no haya filtración de oxígeno, el cual permite que la biodigestión anaeróbica tome su lugar. Los biodigestores de este tipo tienen la peculiaridad de que su capacidad de almacenaje es mayor lo cual permite que mayor materia orgánica puede entrar para la producción de biogás. Estos biodigestores cuentan con una cámara donde la materia entrante se retiene y otra cámara donde se guarda la materia que sale de él.



Ilustración 10: Biodigestor Puxin 260m³

Fuente: PuxinTech

También tiene una campana donde se guarda el metano, conteniendo un porcentaje de volumen total de la digestión. Aquí es donde se utiliza lonas para guardar el biogás y retener cualquier fuga que pueda tener el biodigestor. Hay ciertos parámetros que deben tomar en cuenta para maximizar la eficiencia, tales como; (Moreno, 2011).

1. Sellado hermético, evitar fugas de sustratos
2. Aislamiento térmico en el interior para mantener la temperatura en condiciones óptimas
3. Conexión correcta de tuberías y válvulas por donde el biogás recorre hacia la cámara de combustión del motor
4. Conexiones entre las cámaras de sustratos, digestiones y salidas del sustrato
5. Sellado hermético de las lonas para evitar fugas del biogás

2.20. ELEMENTOS DE UN BIODIGESTOR INDUSTRIAL

2.20.1. LAGUNA ANAEROBIA

La laguna anaerobia es una laguna donde todos los remanentes del biodigestor llegan, también son conocidas como lagunas de oxidación donde el oxígeno en la atmósfera oxida la

bacteria dentro de la laguna. La laguna tiene como función ser un filtro para el tratado de agua el cual contiene un alto porcentaje de nitrógeno y dióxido de carbono. Dependiendo del porcentaje de que contenga de mono compuestos se utilizaran más una laguna para el tratado de las aguas afluentes del biodigestor (Gaido, 2019).

2.20.2. REGISTRO DE LODO

La materia orgánica que es introducida dentro del biodigestor con el tiempo tiende a formar un lodillo, el cual está compuesto por materia orgánica, inóculo, y agua. El registro es utilizado para remover el lodillo y evite así formar una costra en el interior del biodigestor y se pierda la capacidad volumétrica. Se le acopla una tubería que por medio de diferencia de presiones el lodillo logre salir sin problema alguno. El remanente de lodo es y puede ser utilizado como abono para cultivo (Energia, 2017).

2.20.3. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE BIOGÁS

Se debe tomar en cuenta en los biodigestores, el tiempo en los cuales no podrán generar biogás y por ende energía eléctrica. Este tiempo debe ser calculado para saber el tiempo en cuales no podrá abastecer el porcentaje de demanda de energía eléctrica. El tiempo de recuperación es el tiempo en el que la generación de biogás vuelve a comenzar y el llenado de las lonas de abastecimiento vuelven a llenarse. Ciertos factores que afectan el tiempo de recuperación incluyen el volumen del biodigestor, la temperatura, su humedad y las entradas de carga y descargas diarias de la materia orgánica (Gaido, 2019).

2.21. NORMAS AMBIENTALES PARA EFLUENTES DE UN BIODIGESTOR – IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental es todo aspecto que de manera negativa altera o cambia debido a la actividad humana en un entorno en específico (Impacto Ambiental, 2018). Cada actividad humana con el fin de promover desarrollo, impulsar la economía y ayudar al medio ambiente genera un impacto, dependiendo de la actividad puede ser reversible o irreversible. Se deberá realizar un esquema tomando en cuenta criterios de valoración que permitan a entes gubernamentales encargados, así como el propietario del proyecto dentro del marco legal e institucional una toma de decisión que permitan minimizar los impactos (Salvador , Alcaide, & Sanchez, 2005).

- «*Descripción del proyecto y sus acciones.*
- *Examen de las alternativas técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.*
- *Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves.*
- *Identificación y valoración de impactos.*
- *Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.*
- *Programa de vigilancia ambiental.*
- *Documento de síntesis.»*

Ilustración 11: Apartados que constituyen la Evaluación de Impacto Ambiental

Fuente: (Salvador , Alcaide, & Sanchez, 2005).

Las normas tienen como objetivo regular las descargas de los efluentes de un biodigestor a cuerpos receptores, fomentando la instalación de sistemas de tratamientos de aguas residuales.

Con el propósito de reducir la producción y concentración de contaminantes que son vertidos al ambiente. Se debe cumplir con ciertos requisitos o parámetros para preservar el medio ambiente (Sanchez, 2011).

Por fines de investigación y académicos, solo se tomará en cuenta el análisis del DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Tabla 7: Concentración máximas de efluentes de aguas residuales según la norma nacional

Parámetro	Unidad de medida	Concentración máxima permisible
DQO	Mg/l	200

Fuente: Compendio de legislación ambiental de Honduras

2.22. ANALIZADOR DE BIOGÁS (GFM 406)

El analizador de biogás es un dispositivo capaz de medir las concentraciones de metano, oxígeno, dióxido de carbono en el biogás. Tiene como opción medir otro tipo de gases, pero para temas de investigación se midieron los antes mencionados. Los analizadores son equipos sofisticados y algo costosos debido a los sistemas complejos que traen. Ayudan a medir en tiempo real las concentraciones de gas en equipos industriales garantizando la seguridad del personal y la del usuario. Son equipos fiables para el análisis de biogás. Una de las ventajas de un analizador

de biogás es el tiempo de respuesta del equipo, se evita que el análisis del componente a evaluar tenga que ser llevado a un laboratorio, ahorrando tiempo y costos. (Gas Data, 2019)



Ilustración 12: Analizador de Biogás modelo GFM 406

Fuente: Gas Data

2.23. EQUIPO POST TRATAMIENTO

Filtro para el ácido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico es un agente en estado gaseoso generado particularmente por la putrefacción de materias orgánicas de origen animal y/o vegetal que contiene azufre. Su fórmula es H_2S , este gas es más pesado que el aire, se considera inflamable, incoloro, tóxico y odorífero (Medidas Preventivas Ante Emanaciones de Acido Sulfihidrico, 2019).

En el biogás que se origina de tratamiento anaeróbico de residuos, se halla frecuentemente presente un compuesto perjudicial como es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que se forma en la reducción de sulfatos por bacterias anaerobias. Los sulfatos presentes en los digestores anaeróbicos están presentes en los abastecimientos de agua potable, de descargas industriales y de la descomposición de compuestos orgánicos que contienen azufre, tales como proteínas y orina (EMISON, Estudio de tratamiento gases con SH_2 , 2019).

La presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el biogás en concentraciones que pueden llegar a superar las 10.000 partes por millón estando los valores medios, normalmente en torno a las 2.500 partes por millón, presenta dos graves inconvenientes para su aplicación energética. La

cantidad excesiva de ácido de sulfhídrico presenta daños por corrosión en el equipo (EMISON, Estudio de tratamiento gases con SH₂, 2019).

El ácido sulfhídrico al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico altamente corrosivo si llegara a pasar a un motor. Para disminuir el contenido de este compuesto, se pueden emplear tratamientos físico- químicos de acondicionamiento o un sistema consistente en la adición de sales de hierro. Para eliminar el H₂S existen diferentes métodos basados en técnicas fisicoquímicas y biológicas. Los métodos físicos reaccionan por el principio de absorción en donde las partículas de sulfuro de hidrógeno se quedan adheridas a los medios filtrantes. Los métodos químicos funcionan bajo el principio de absorción en donde el H₂S reacciona con distintas sustancias químicas y se transforma en azufre elemental o sulfatos los cuales tienen mayor facilidad de remoción. Por último, el método biológico que consiste en agregar microorganismos con alto potencial de consumo de azufre (Medidas Preventivas Ante Emanaciones de Acido Sulfhidrico, 2019).

Para eliminarlo se usan filtros de cal viva o limaduras de hierro, o limonita, todas sustancias ricas en compuestos ferrosos. El filtro se coloca entre el biodigestor y el tanque reservorio o la utilización. El resultado del filtro es la eliminación del sulfuro de hidrógeno y la obtención de sulfuro de hierro.

El filtro de acero es la tecnología más empleada para la eliminación de pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico presentes en el biogás.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE

El enfoque que se seleccionó para el proyecto de investigación fue el mixto. El enfoque cualitativo durante el proyecto fue la observación del comportamiento natural, de los hechos. El enfoque cuantitativo que se realizó y por el cual se utilizaron herramientas como encuestas, entrevistas, y se analizó según la investigación lo requería. Se verá la interacción de ambos métodos, cualitativo y cuantitativo para en el transcurso de la investigación.

3.2. VARIABLE DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son factores que pueden ser medidos, manipulados y probablemente cambien durante el transcurso de la investigación. (Jervis, 2019). La variable independiente se podrá manipular o cambiar por el investigador. El proyecto se encontró con diferentes variables independientes como; la cantidad de materia orgánica vertida en el biodigestor, y el inóculo de palma.

La variable dependiente dependerá de otras variables, este sujeto a cambios por acción de otro elemento. Las variables dependientes del proyecto fue la producción de biogás, cantidad de materia orgánica vertida sobre los contenedores, el nivel del pH y la temperatura en él biodigestor.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

La técnica que se utilizó en la investigación cualitativa fue la observación no participativa, se recolecto información observando el comportamiento natural del flujo de basura hacia los contenedores en la central de abastos, se utilizó la técnica de respuestas abiertas. Así como el método cuantitativo la técnica que se utilizó fue la entrevista, la encuesta. Se entrevistó a la gerente operativa de la central de abastos. Se encuestó al personal de seguridad y a dirigentes de la central de abastos y la observación durante las visitas a la central y en el biodigestor durante las etapas de desarrollo del biogás.

3.4. MATERIALES

Los materiales utilizados para el proyecto de investigación fueron los siguientes;

1. Biodigestor PUXIN Portátil 1.2m³
2. Bomba de recirculación 125W (Monofásica)
3. Trituradora de desechos de alimentos Capacidad 20L, 3kW, monofásica
4. Caudalímetro BF-2000
5. Bomba de extracción de biogás
6. Filtro seco
7. pH metro
8. Cubilete 400mL

9. Balanza
10. Cal
11. Manguera
12. Agua destilada
13. Llantas de tractor
14. Gasómetro
15. Inóculo de palma
16. Materia orgánica
17. Analizador de biogás (GFM Series)
18. Pirómetro
19. Horno THELCO modelo 19
20. Balanza digital

3.5. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS

Para la investigación del proyecto del biodigestor se utilizaron materiales y equipos que facilitaron los procesos de investigación, así como la materia prima en este caso las verduras y vegetales utilizados a continuación.

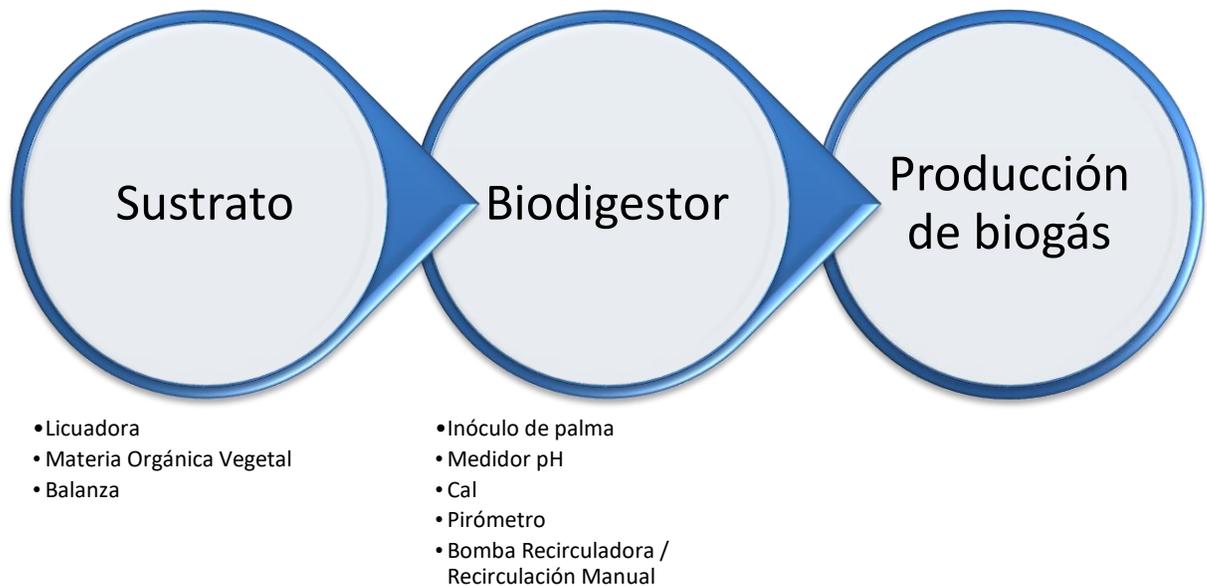


Ilustración 13: Interacción de los elementos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. BIODIGESTOR

El reactor donde todo proceso de biogás y bioabono tomó su lugar, siendo el motor de toda la investigación. El biodigestor es un digester donde presenta las cualidades necesarias para que la biodigestión tome su lugar, generando así el biogás utilizado para generación de energía eléctrica, calor y producción de bioabono (Energía, 2017).



Ilustración 14: Biodigestor Utilizado modelo Puxin 1.2m³

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica jugó un papel fundamental en el proyecto debido a que este consistió como la materia prima para el biodigestor, la materia orgánica podía ser constituido por vegetales y frutas, con textura suave, debido a que el proceso de hidrólisis no podría romper las cadenas largas de las conchas y cáscaras pues estas son más fuertes y difíciles de romper.



Ilustración 15: Materia Orgánica utilizada en la investigación

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3. INÓCULO DE PALMA

El inóculo de la palma trae a la bacteria metanogénica la cual se utilizó para el proyecto. El inóculo de palma conseguido en PALCASA, es el lodo anaeróbico remanente de la biodigestión. Debido al corto tiempo para la realización de proyecto se optó por la utilización del lodillo. Gracias al inóculo de palma se acortó el tiempo de biodigestión de 2 meses como mínimo a tan solo cinco semanas y media.



Ilustración 16: Inóculo de palma

Fuente: Propia

3.5.4. TRITURADORA Y SUSTRATO

Para poder verter la cantidad necesaria de materia orgánica se utilizó una balanza la cual nos ayudó a pesar la cantidad exacta de solución como comida para la bacteria. Se pesaba entre 1 y 2 kilogramos de materia orgánica. Posteriormente este era vertido sobre la trituradora junto con 15 litros de agua. Se trituraba de manera uniforme la materia eliminando los pedazos grandes con la mano debido a que la bacteria no podría digerir pedazos grandes y para evitar atascos de la bomba recicladora. Por consiguiente, se vertía la solución en la entrada del biodigestor.



Ilustración 17: Sustrato y trituradora utilizada

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. BOMBA RECIRCULADORA

Aunque no fue mucha ayuda, se utilizó la bomba recicladora para la recirculación del sustrato dentro de biodigestor debido a que dentro del biodigestor el sustrato viejo, sustrato nuevo y la bacteria se asentaban. La bomba aseguraba que tanto los sustratos y la bacteria se lograran mezclar bien, promoviendo el alimento fresco para la bacteria, así promoviendo el buen desarrollo de la bacteria y como resultado una buena generación de biogás. Debido a la densidad

del sustrato terminó por dañar la bomba la cual obligó a que trabajáramos utilizando cubetas e hiciéramos la recirculación de manera mecánica.



Ilustración 18: Bomba recirculadora

Fuente: Elaboración Propia

3.5.6. MEDIDOR PH

El medidor pH o pH metro nos ayudaba a lograr medir la cantidad de hidrógeno con mayor precisión que las tiras de pH. Utilizando un cubilete de 400mL se sacaba una muestra del sustrato y luego se anotaba el valor registrado en el cuaderno para las bitácoras.



Ilustración 19: Medidor de pH

Fuente: Elaboración Propia

3.5.7. CAL

La cal jugó un papel fundamental en el proyecto, pues se utilizaba como material de emergencia. Si el pH indicaba un valor por debajo del 7 se vertía un kg de cal junto con la solución de carga orgánica para nivelar el pH de la bacteria y evitar así la pérdida de la bacteria.



Ilustración 20: Cal

Fuente: Elaboración propia

3.5.8. BOMBA DE EXTRACCIÓN

La bomba de extracción tiene como fin extraer el biogás almacenado dentro del biodigestor para luego pasarlo por el filtro seco, luego por el flujómetro y por último al gasómetro donde este era almacenado (Emerson, 2002).



Ilustración 21: Bomba extractora

Fuente: Elaboración Propia

3.5.9. FLUJÓMETRO

El flujómetro es un analizador de flujo, en este caso el modelo BF-2000 registra la cantidad de flujo en m^3/h global desde su inicio, desde el biodigestor hacia el gasómetro. Cabe destacar que el flujómetro solo analiza el gas en un solo sentido. También mide la cantidad de flujo de gas recorrido en ese instante, la temperatura del gas y la composición del gas. En este caso el flujómetro analizaba la cantidad de CH_4 registrado en el biogás (EMISON, Estudio de tratamiento gases con SH_2 , 2019).



Ilustración 22: Flujómetro BF-2000

Fuente: Puxin

3.5.10. ANALIZADOR DE BIOGÁS

El analizador de biogás es el equipo de mayor peso en sentido figurativo en todo el proyecto, debido a que gracias a él se logró analizar el biogás y así poder sacar la cantidad de metano producido por el biodigestor, siendo posible la generación de energía eléctrica por medio del metano a través de un motor de combustión interna (Gas Data, 2019).

3.5.11. PIRÓMETRO Y BALANZA

El pirómetro es un instrumento utilizados para medir temperaturas a distancia. (Mecafenix, 2018). El instrumento fue de gran ayuda, al poder registrar el valor de temperatura en grado Celsius. Sabiendo así conocer la temperatura interna del biodigestor, este equipo fue de gran ayuda para conocer el entorno en que se manejaba la bacteria mesofílica. La balanza nos ayudó a poder sacar el valor exacto en kg, tanto para la materia orgánica como para la cal en caso de emergencia.



Ilustración 23: Balanza y pirómetro utilizados en la investigación

Fuente: Elaboración propia

3.5.12. HORNO THELCO

Como fin investigativo se requirió del horno Marca Thelco modelo 19, el cual estaba ubicado en el laboratorio de química en Unitec, con el fin de encontrar el porcentaje de Materia seca de la muestra de materia orgánica obtenida en la central de abastos. El horno jugó un papel fundamental pues debió hornear la muestra para extraer todo líquido que estuviera almacenado en la materia orgánica, para luego ser pesada y encontrar el porcentaje (Estufas y hornos para laboratorio: para análisis durante fabricación o transformación de materiales, 2019).



Ilustración 24: Horno ubicado en Unitec

Fuente: Unitec

3.6. PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

A continuación, se va a presentar un diagrama de los que conforma la metodología:

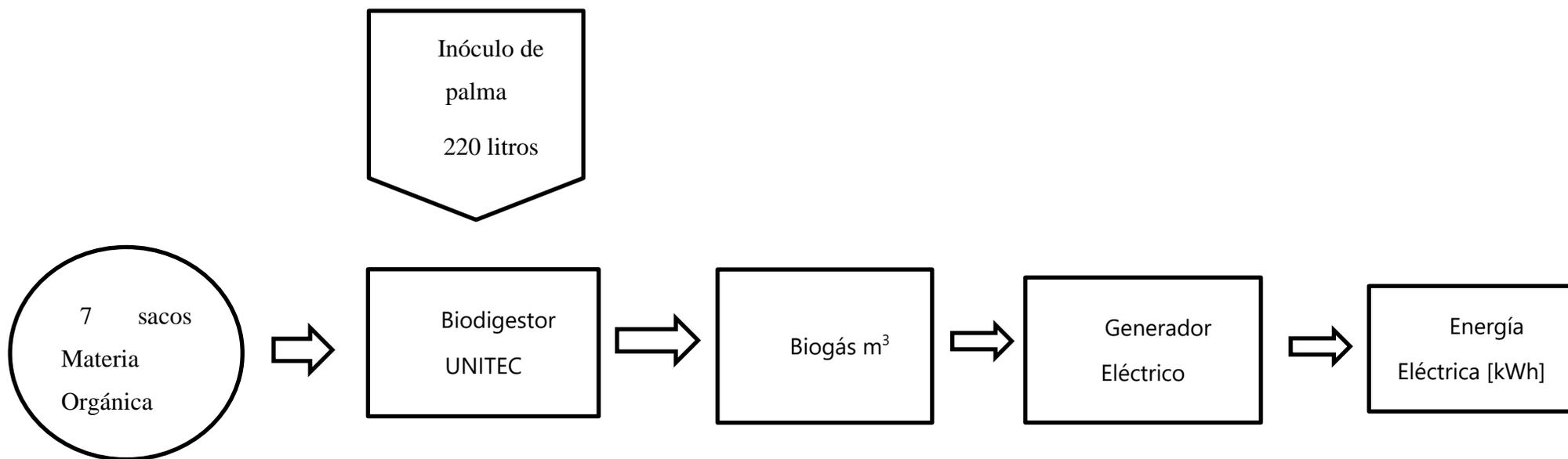


Ilustración 25: Pasos para la producción de biogás

Fuente: Elaboración Propia

La siguiente ilustración muestra los pasos necesarios que se requirió para la producción de biogás. Cabe destacar que se realizó en la primera semana de la investigación, partiendo en semana dos, se tuvo una demora por problemas en el biodigestor. Se tomaron otros pasos para la introducción de materia orgánica al biodigestor. Tomando siempre como base los pasos de la ilustración 25.

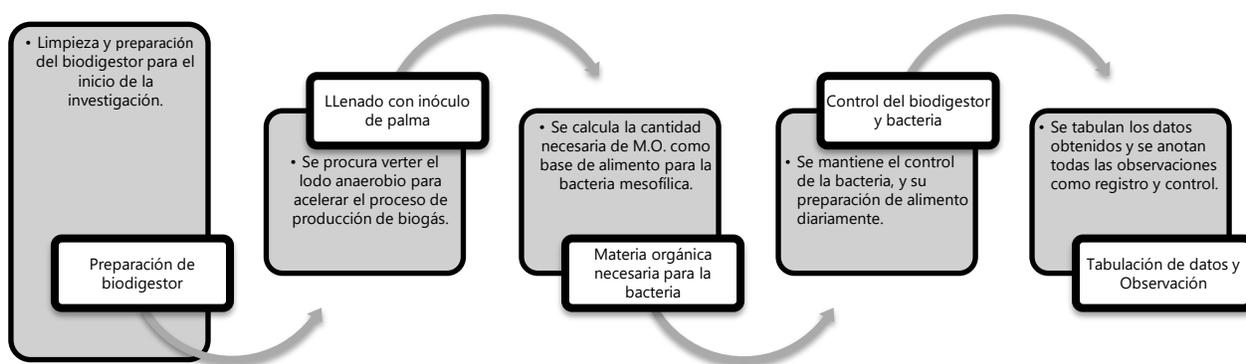


Ilustración 26: Los pasos de la metodología para la producción de biogás

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1. AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LAS AUTORIDADES DE LA CENTRAL DE ABASTOS

Como primer paso, en la metodología se requirió de autorización por parte de las autoridades de la central de abastos, con el fin de otorgar permiso y facilitar ciertos documentos para la realización del proyecto. Se solicitó de sus facturas de energía eléctrica, conocer su consumo real y su costo de energía, al igual que solicitar sacos de materia orgánica semanalmente como materia prima para el biodigestor.

3.6.2. PREPARACIÓN DEL BIODIGESTOR

Como primer paso empírico fue la limpieza del biodigestor. El biodigestor utilizado para el proyecto fue el PUXIN Biodigestor modelo BIO01-1.2m³. La limpieza consistió en vaciar el

biodigestor, para evitar resultados erróneos, debido a que el biodigestor es utilizado para el laboratorio de biomasa. Se vació el biodigestor mientras se vertía agua por medio de la entrada. Para así asegurar la limpieza del biodigestor y se procuraba ver en el drenaje el flujo, como control y evitar desbordar el desagüe. Este proceso tomo tres días debido a que el drenaje se llenaba rápidamente se tenía que dejar que el agua fluyera, el mal control en las limpiezas del biodigestor pasadas formó lodillo, se secó en el drenaje, lo cual tapó el drenaje de descarga en la fosa.

3.6.3. LLENADO CON INÓCULO DE PALMA

Una vez limpio el biodigestor se procuró llenar de inóculo de palma el biodigestor. La capacidad de volumen del biodigestor es de 0.6m^3 . El inóculo trae ya activa la bacteria metanogénica actuando como catalizador en el proceso de biodigestión. El lodo anaeróbico también conocido se utilizó para poder arrancar el proceso de producción de biogás. En promedio se vierte el 30% de inóculo del volumen total del biodigestor.

$$\begin{aligned} & \text{Volumen de digestor} \times \% \text{ estandar de inóculo en el biodigestor} \\ & = \text{Cantidad de inóculo requerido} \end{aligned}$$

$$0.6\text{m}^3 \times 30\% = 0.18\text{m}^3$$

$$0.18\text{m}^3 = 180 \text{ Litros}$$

Ecuación 1- Cantidad necesario de inóculo

Fuente: (Gaido, 2019)

Se requirió de 180 litros de inóculo de palma, las cuales fueron sustraídas de las lagunas en ECOPALSA, el área encargada de biomasa de PALCASA. Se utilizó un dron debido a su capacidad de llenado. Se vertió 220 litros de inóculo de palma en el biodigestor, fueron 180 litros la primera vez. Debido a una falla de una de las tuberías se tuvo que vaciar el biodigestor botando 140 litros, quedando con 40 litros, entonces se tuvo que volver a llenar con 180 litros de inóculo. Siendo un total de 220 litros de inóculo.



Ilustración 27: Inóculo de palma

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA VEGETAL

Una vez vertido el inóculo de palma se continuó con conocer la carga orgánica diaria de materia orgánica que ocuparía el biodigestor. Para lograr conocer el valor base de carga orgánica diaria inicial se tomó ciertos parámetros estándares y una multiplicación sencilla para conocer el valor de la carga orgánica diaria.

$$\text{Volumen del biodigestor} \times \text{DQO estándar} = \text{carga orgánica diaria}$$

$$0.6\text{m}^3 \times 2.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.2 \text{ kg MO/día}$$

Ecuación 2- Carga organica

Fuente: (Gaido, 2019)

Una vez calculando la carga orgánica diaria como base, se podía empezar a verter el contenido dentro del biodigestor. Cabe destacar que se podía verter más materia orgánica si el pH medido se mantenía neutro. Tomando en cuenta que el DQO se tomó como parámetro estándar de carga orgánica en biodigestores tipo laguna, este dato es estandarizado y puede ser utilizado en otros biodigestores.

Como algunos ejemplos de la carga diaria necesaria como alimento para la bacteria mesofílica, se tabularon algunos vegetales buenos para el proyecto. Estos vegetales eran más fáciles de descomponer en el proceso de hidrólisis debido a que las cadenas largas en las que están hecha son más fáciles de separar.

Tabla 8: Vegetales encontrado y utilizados en el proceso de alimentación

Lechuga	Brócoli
Repollo	Coliflor
Rábano	Habichuela
Pepino	Espinaca
Perejil	Cilantro
Apio	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. CONTROL DEL BIODIGESTOR Y BACTERIA

Una vez tomado los dos factores prioritarios el inóculo y la carga orgánica diaria, se tomó tres días de reposo del biodigestor. Debido a que se debía dejar que el inóculo se asentara en el biodigestor, la bacteria en el inóculo se activaría gracias a la materia orgánica vegetal que se le vertía diariamente. Al cuarto día se procedió a tomar registro del biodigestor, en la mañana como en la tarde, todos los días sin excluir los fines de semana. Las herramientas necesarias diariamente fueron bomba recicladora, la trituradora, la balanza, el pH metro. El control de la bacteria era de suma importancia debido a que la bacteria mesofílica, la bacteria que se encuentra en zonas tropicales no podía tener un pH bajo, ni temperaturas muy altas.

La bomba recicladora se encendía durante quince minutos dos veces por día, recirculando el sustrato, mientras se prepara la solución de carga orgánica vegetal. Se utilizaba una balanza para pesar la materia orgánica 1-1.2 kg/día. Se utilizó una relación diez litros de agua a un kg de materia orgánica para dejar bien mezclado la solución, utilizando quince litros de agua. Utilizando la mano se sacaba pedazos que fuesen muy grandes, debido a que se le sería difícil para la bacteria poder digerirlo, debido al proceso de hidrólisis. Posteriormente se sacaba una muestra del sustrato ya

dentro del biodigestor, por medio de una llave de evacuación, analizándola junto con el pH metro tomando cuidado del valor que este indicara.



Ilustración 28: Recirculación del sustrato y análisis de muestra de pH

Fuente: Elaboración propia

Si en algún dado caso el pH indicaba un valor menor al siete, se vertía un kg de cal, junto con la solución, para restablecer el pH de la bacteria. Se agregaba un kg como referencia, si no funcionaba se vertía aún más cal para reestablecer el pH de la bacteria. Este proceso se realizaba todos los días, durante las cinco semanas y media, dos veces al día. Cabe destacar que la carga orgánica se vertía solo una vez al día, mientras que la medición de pH y recirculación se hacían dos veces al día.

3.6.4. TABULACIÓN DE DATOS Y OBSERVACIÓN

El mismo proceso se hacía todos los días, sin descansar un día. Los primeros días era vital mantener a la bacteria activa pues dependía de ayuda para poder sobrevivir. Cada paso se tomaba los datos en un cuaderno como bitácora, cada día se registraba la fecha, hora, el pH, observaciones en el comportamiento de la bacteria y el biodigestor, temperaturas y la carga orgánica. Para lograr tener un registro y control de todo el proceso.

Tabla 9: Ejemplo de bitácora durante el proyecto

Fecha	Hora	pH	Observaciones	Mezcla
25-jul	10:37 a. m.	7.14	La bomba se dejó un minuto encendida. No se pudo hacer la mezcla de la tarde porque no hay agua.	1 kg de materia orgánica: 15 litros de agua
25-jul	4:34 p. m.	7.13	La bomba trabajo bien. Se preparo la mezcla	1 kg de materia orgánica: 15 litros de agua
26-jul	9:41 a. m.	7.2	Se vació 4 cubetas de la mezcla del biodigestor. La bomba no dejo circular.	1 kg de materia orgánica: 15 litros de agua
26-jul	1:23 p. m.	7.11	Se vació 4 cubetas de la mezcla del biodigestor. La bomba se arregló.	
27-jul	10:35 a. m.	7.16	La bomba funciona. Se vertió la solución de comida al biodigestor. Se midió el pH del biodigestor.	1 kg de materia orgánica: 15 litros de agua
27-jul	5:04 p. m.	7.1	La bomba funciona. Se vertió la solución de materia orgánica al biodigestor, se midió el pH.	1 kg de materia orgánica: 15 litros de agua
29-jul	3:15 p. m.	7.12	No se le dio de comer al biodigestor. Solo se midió el pH.	
30-jul	10:40 a. m.	7.07	Se está llenando de gas. Se midió el pH.	
30-jul	3:26 p. m.	7.1	Se nota el crecimiento de la bolsa. Se midió el pH.	

Fuente: Elaboración Propia

3.7. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Todo proyecto de investigación con lleva una metodología de estudio el cual tiene como fin replicar el proyecto investigativo según el lector o quien desee probarlo. El procedimiento efectuado para identificar la materia orgánica disponible dentro de la central de abastos fue la siguiente;

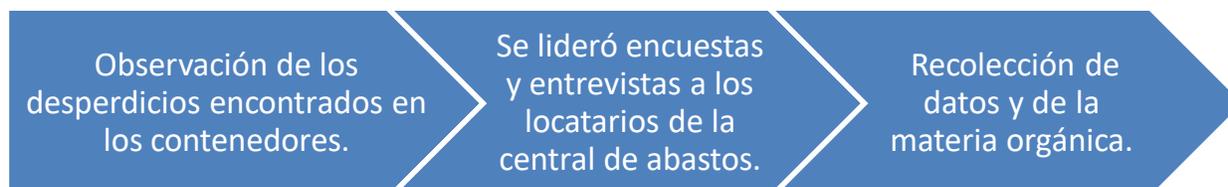


Ilustración 29: Procedimientos para identificar la materia orgánica disponible

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando técnicas como encuestas, entrevistas se lograron seleccionar las verduras y frutas aptas para el consumo del biodigestor. Luego para lograr encontrar el valor exacto de materia orgánica disponible en la central se utilizó como técnica la encuesta y la obtención de datos de las autoridades de la central de abastos para conocer la capacidad de los dos contenedores que están ubicados ahí mismos, una vez conociendo su capacidad de llenado y cuantas veces estos contenedores eran removidos diariamente debido a su llenado, se logró cuantificar la producción de materia orgánica al mes. Se utilizó la regla de tres para estimar la cantidad de biogás que podría producir utilizando el biodigestor piloto utilizado para la investigación como referencia y así sacar un estimado de su producción.

Se logro estimar la generación de energía eléctrica a base del biogás que se podría producir con una serie de pasos de eliminación hasta llegar a la cantidad de biogás producido anualmente. Utilizando fórmulas de conversión y cancelación como herramientas necesarias para llegar al valor encontrado. Para determinar la demanda de energía eléctrica de la central de abastos se procedió a la recolección de las facturas gracias a las autoridades de la misma central que proveyeron de dichos datos. Cabe destacar que para este paso no fueron necesarias técnicas o herramientas.

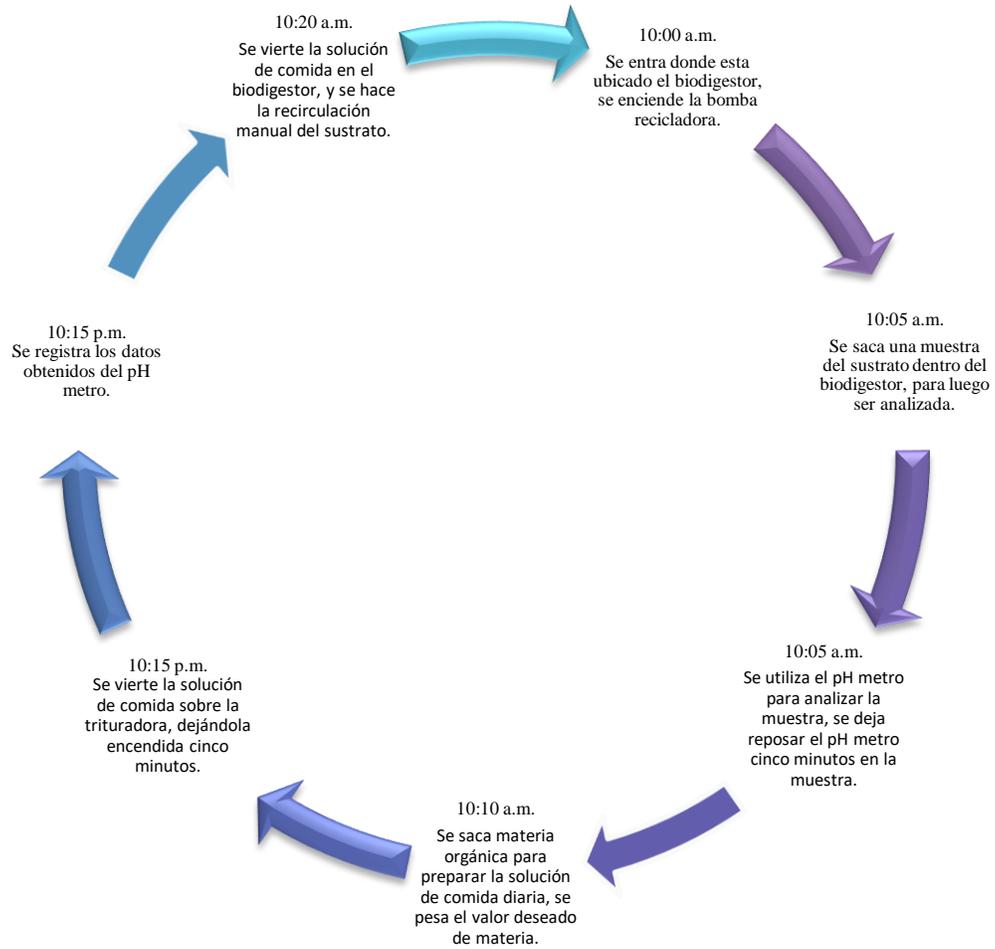
3.8. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La metodología de validación que se utilizó en el proyecto fue la investigación. La investigación que se llevó a cabo logró tener un mejor entendimiento sobre la producción de biogás a partir de la materia orgánica vertida en el biodigestor. Como recurso disponible dentro de la metodología se hizo uso de métodos y técnicas que permitió llegar a una validación y conclusión sobre la interacción de materia orgánica, bacteria y la energía eléctrica. Cabe destacar el apoyo que se recibió por parte de PALCASA por parte del ingeniero Walter Méndez, quien gracias a él se logró validar los datos obtenidos del biogás del biodigestor utilizado como parte de la investigación.

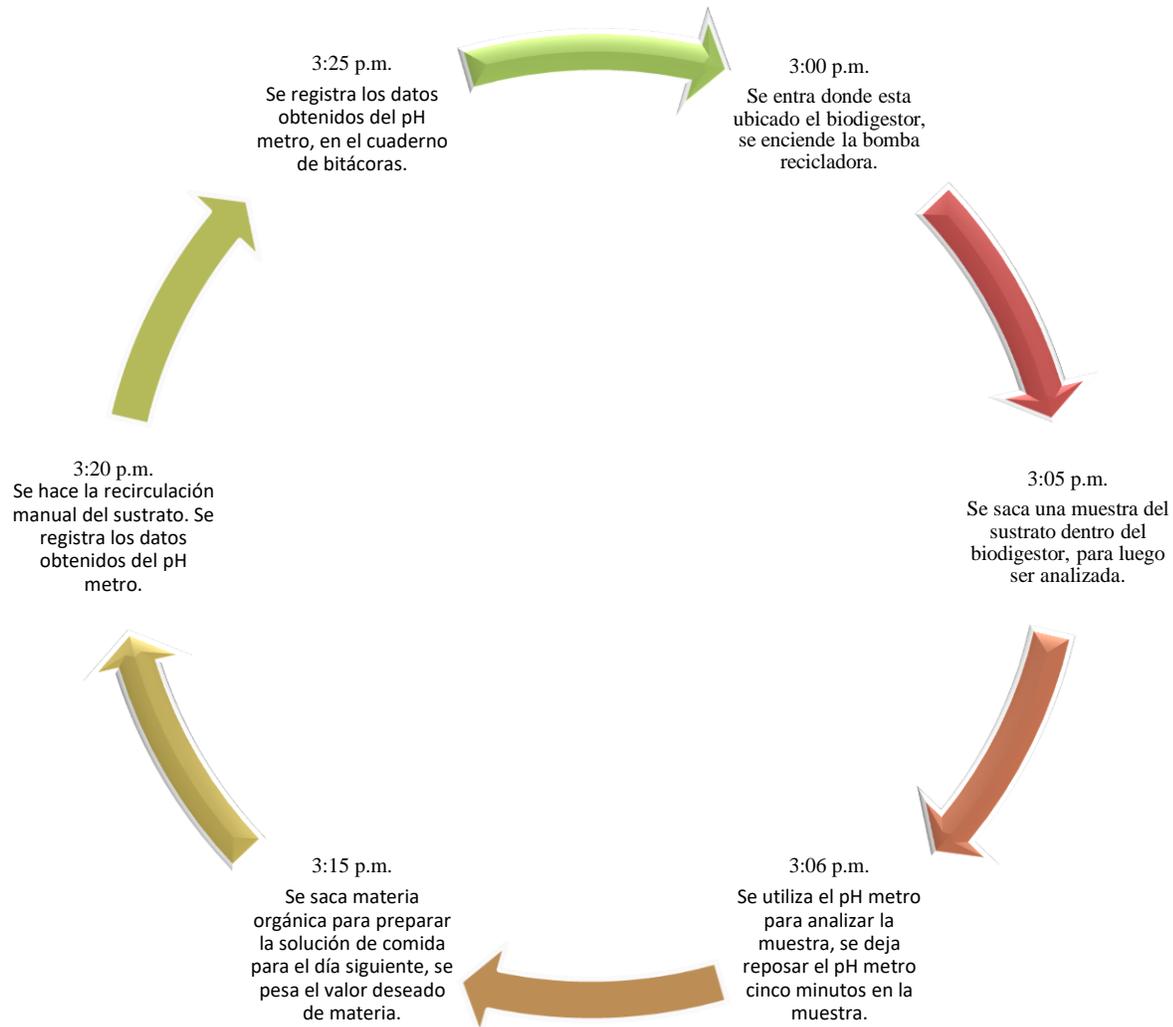
3.9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para la elaboración del biogás se requirió de rutinas diarias de lunes a domingo. Dejando todo registrando en la bitácora. A continuación, se podrá ver la rutina de la mañana, así como en la tarde.

Mañana



Tarde



Cabe mencionar que los ciclos de la mañana y tarde se rotaban de manera constante, y las horas trabajadas en el biodigestor también variaban.

3.10. LIMITANTES DEL ESTUDIO

Las limitantes de estudio son factores que pueden impedir la buena obtención de información ya sea para el marco teórico o metodología. A continuación, se presentarán las limitaciones encontradas durante la elaboración de estudio de factibilidad.

1. El tiempo de horneado de la materia orgánica debido a que por medidas de seguridad no se permitió el encendido del horno por más de 12 horas, por políticas de seguridad y control de Unitec.
2. El nivel de llenado exacto diario con el cual salían los contenedores de la central, se utilizó la encuesta para estimar el porcentaje de llenado de basura.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DESARROLLO DEL BIOGÁS

Durante las cinco semanas de investigación se logró ver la producción de biogás dentro de la lona del biodigestor, al principio se vio como el aumento del gas era leve. Durante el curso de las semanas se vio la necesidad de asegurar y tapan cualquier fuga de gas, que pudiera afectar la generación de biogás. A continuación, se podrá visualizar el aumento del biogás conforme a cada semana.



Ilustración 30: Progreso del biogás/ Semana 2 Progreso del biogás/ Semana 3



Ilustración 31: Progreso del biogás/semana 4 Progreso del biogás/Semana 5



Ilustración 32: Progreso del biogás/Semana 6

4.2. ANÁLISIS DEL BIOGÁS

Con el biodigestor ya puesto en marcha desde la semana uno, tardó cerca de cinco semanas y media para poder producir biogás. Se hizo la medición del biogás con ayuda del analizador de biogás y la ayuda de un ingeniero de PALCASA. Para lograr analizar el biogás se tuvieron que abrir las válvulas de manera directa debido a que la presión de la bomba extractora era muy baja y no estaba indicando los valores apropiados, una vez el analizador tomó lectura de los datos se procedió a tomar foto para registrar el valor obtenido. A continuación, se podrá ver de manera clara los valores arrojados por el analizador de biogás.

Tabla 10: Porcentaje de gases en el biogás obtenido

Gas	Valor obtenido	Valor ideal
Metano	65.6%	60-70 %
Dióxido de carbono	22.9%	30-45 %
Ácido sulfúrico	5 ppm	Máximo 1 ppm
Oxígeno	0.4%	Máximo 1

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 33: Resultados obtenidos del análisis del biogás

Fuente: Palcasa

4.3. REGISTRO DE BIOGÁS EN LA LONA DEL BIODIGESTOR

Se realizó una prueba una vez analizado el biogás dentro del biodigestor, que consistía en encender la bomba extractora por una hora y así saber cuánto biogás podría liberar en una hora determinada. Se tomó la hora y los valores ya dados en el flujómetro y tiempo después se apagaría y se tomarían los datos registrados en el flujómetro. La tabla a continuación mostrará en mejor manera los resultados obtenidos.

Tabla 11: Resultado obtenidos del flujómetro

Ítem	Medición Global [m ³]	Medición Instantánea [m ³ /h]	Composición metano [%]	Temperatura [°C]
Encendido 4.05 p.m.	9982.812	17.188	60	33.6
Apagado 5.10 p.m.	9981.353	18.647	65	31.5
Diferencia	-1.459	1.459	5	2.1

Fuente: Elaboración Propia

Se da cuenta que la medición global es tomada como el flujo que se escapa del biodigestor hacia el gasómetro, tomando la diferencia como negativo. Los valores arrojados fueron en una hora determinada, puede ayudarnos a calcular cuánto biogás puede ser liberado por hora. Teniendo en cuenta que, si se tuviese una bomba extractora de biogás de mayor potencia, los valores arrojados serían aún mayores. Si se mantiene encendido por ocho horas continua se puede hacer una proyección de cuánto biogás logró extraer la bomba extractora. Los valores dados son normales debido a la capacidad de la bomba extractora. Con esta cantidad se podría encender una estufa a gas o una lámpara de gas por un periodo corto de tiempo. Cabe destacar que la capacidad volumétrica de almacenamiento del biodigestor es de 0.4m³.

4.4. ANÁLISIS DE PH Y TEMPERATURA

El análisis del pH y temperatura durante el proyecto fue de manera diaria debido a que estos dos parámetros se debían cuidar para evitar que la bacteria metanogénica se viera afectada, o fuera a perecer. El análisis del pH se registraba dos veces por día y la temperatura se hacía la medición una vez al día, debido a que su control era importante pero el pH era de mayor

importancia. Cabe destacar que el proyecto de investigación debió iniciar de cero debido a una falla en la tubería, iniciando de nuevo en semana dos.

Tabla 12: Promedio de PH entre semana

Item	pH Promedio
Semana 2	7.14
Semana 3	7.1
Semana 4	7.25
Semana 5	7.21
Semana 6	7.17

Fuente: Elaboración Propia

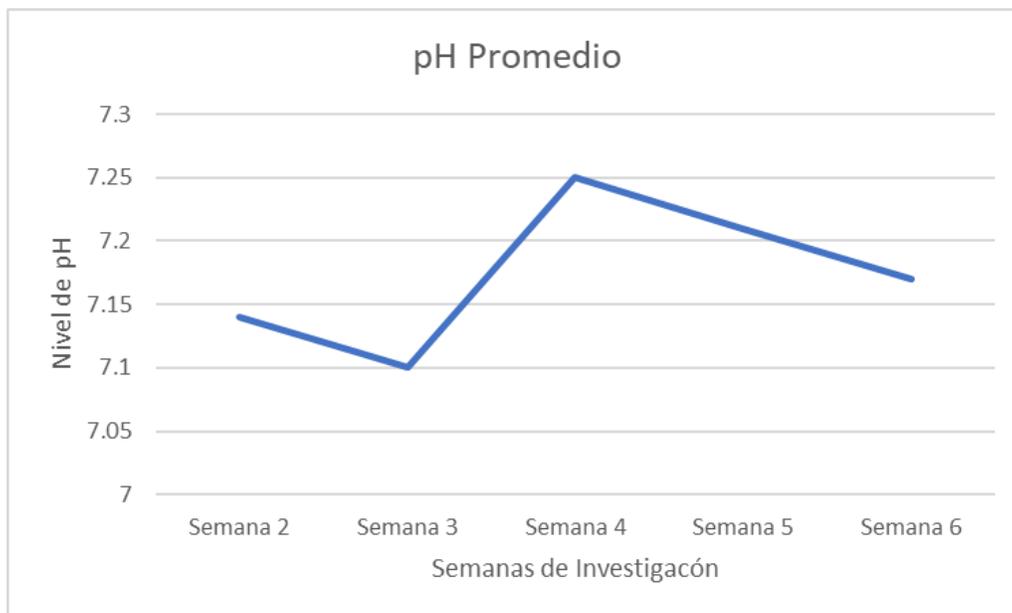


Ilustración 34: Gráfica del pH promedio

Fuente: Elaboración propia

Para sacar el valor de pH por semana se sumaron todas las mediciones por semana dividiéndolas entre el total de las mediciones, sacando el valor pH promedio, repitiéndose por cada semana. El nivel de pH se logró mantener dentro del rango neutral, generando un buen biogás debido al entorno en donde la bacteria metanogénica mesofílica logro desarrollarse. Dando así la importancia de mantener el nivel de pH dentro del rango óptimo.

Tabla 13: Promedio de temperatura promedio entre semana

Item	Temperatura Promedio [°C]
Semana 1	35.6
Semana 2	38.7
Semana 3	36.9
Semana 4	32.1
Semana 5	36.2

Fuente: Elaboración propia

Se hizo el mismo procedimiento para sacar el valor de temperatura promedio por semana. Tabulando los valores en grados Celsius.

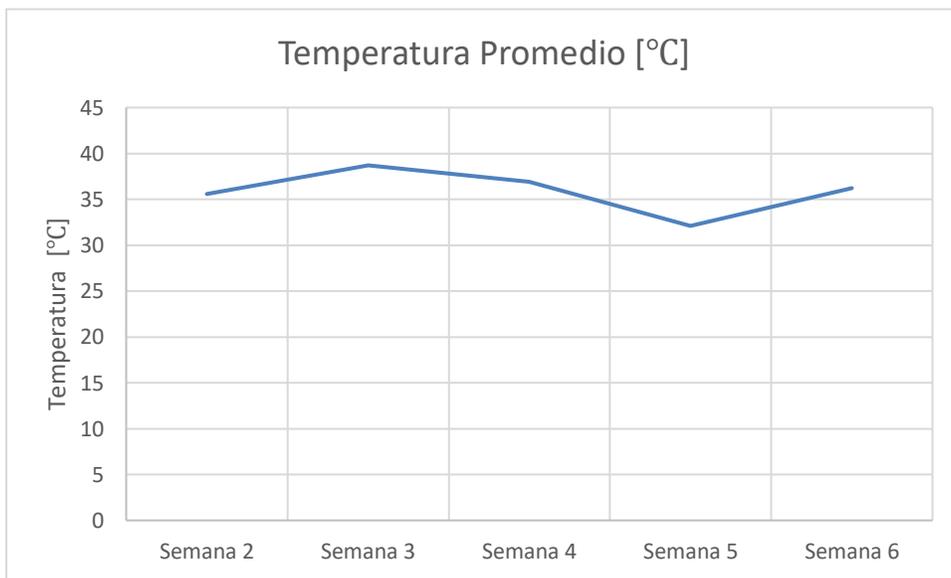


Ilustración 35: Temperatura promedio por semana

Fuente: Elaboración Propia

4.5. UBICACIÓN FAVORABLE PARA UN BIODIGESTOR

La ubicación más favorable para la de un biodigestor sería en la zona verde sin tocar dentro de la central de abastos. Tomando un área total de 245m^2 , para el biodigestor, y accesorios para el tratado de la materia orgánica, el generador, el tanque de almacenamiento y los filtros para el post tratamiento. El área deseada es un predio dentro de la central de abastos que esta junto a la gasolinera Texaco, la ubicación se tomó también en consideración la logística del transporte de la materia prima, la cual está ubicada en los contenedores.

A continuación, una imagen ilustrara el área deseada para el biodigestor.



Ilustración 36: Área del Proyecto del biodigestor

Fuente: Google Earth Pro

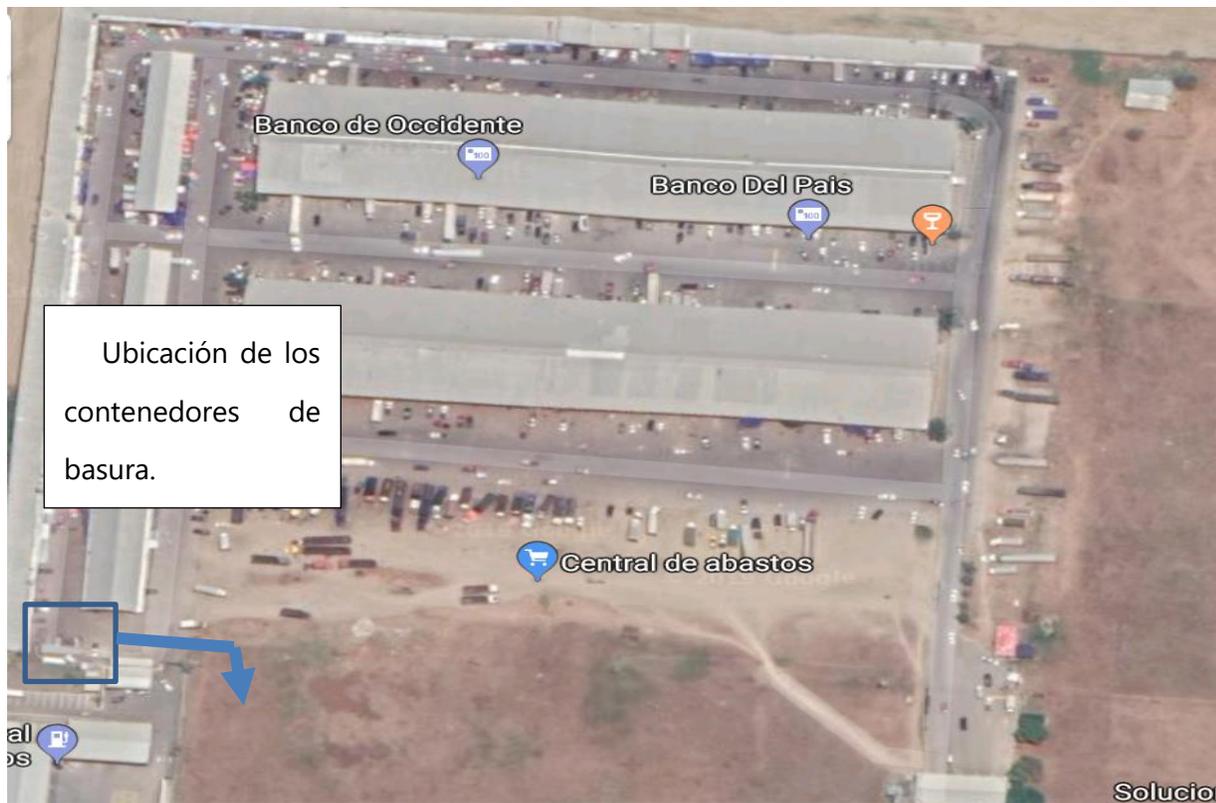


Ilustración 37: Logística del transporte de la materia prima hacia el biodigestor

Fuente: Google Maps



Ilustración 38: Ubicación del proyecto del biodigestor

Fuente: Elaboración propia

4.6. CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE

Para calcular el potencial energético se tenía que disponer de datos sobre la capacidad de los contenedores instalados en la central de abastos. La central de abastos cuenta con dos contenedores de nueve toneladas. Haciendo cuenta que los camiones de Sulambiente (encargados de remover la basura de la central), en mayoría llegaban dos veces por día, todos los días.

$$\text{Capacidad de contenedores} \times \text{Cantidad de contenedores} = \\ \text{Cantidad de desechos orgánicos removida diariamente}$$

$$(9 \text{ Toneladas}) \times 2 = 18 \text{ Toneladas/día}$$

$$18 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times \frac{1000\text{kg}}{1\text{Ton}} = \frac{18,000\text{kg}}{\text{día}}$$

Ecuación 3- Desechos orgánicos removidos

Fuente: Propia

Pasando el valor dado a kilogramos tenemos el siguiente resultado

Obteniendo una capacidad total promedio de 18,000kg/día. Los 18,000kg se obtiene la capacidad total de ambos contenedores. Se tomaron en cuenta, los comentarios hechos por los locatarios, y personal de la central en el sondeo.

Se realizó un sondeo saber en promedio cuántas veces los contenedores de Sulambiente eran removidos de la central de abastos. Para encontrar el valor dado se tuvo que hacer un muestreo y entrevistas a los oficiales de seguridad y encargados de la central de abastos. Las entrevistas fueron verbales a los antes mencionados para saber en promedio cuantas veces los contenedores eran recogidos al día.

Se llegó a la conclusión que, dado los comentarios hechos por los locatarios que de 30 días que componen el mes en promedio, los de Sulambiente iban cuatro veces al día y hacían cuatro viajes dos por contenedor.

$$\frac{4}{30 \text{ días}} = \frac{4}{\text{día}} * \frac{9,000\text{kg}}{\text{contenedor}} = 36,000\text{kg}$$

El resto de los días del mes, los de Sulambiente llegaban dos veces al día, haciendo un viaje por contenedor.

$$\frac{26}{30 \text{ dias}} = \frac{2}{\text{dia}} * \frac{9,000\text{kg}}{\text{contenedor}} = 468,000\text{kg}$$

Para lograr encontrar el promedio de materia orgánica, se realizó un muestreo de los contenedores. Llenando dos bolsas por cada contenedor, utilizando a los locatarios para llenar las bolsas, sin mencionarles el propósito de la investigación.



Ilustración 39: Momentos previos a la obtención de las muestras.

Fuente: Elaboración propia

Una vez llenada las bolsas se procedió a llevarlas a la zona de estudio, en el laboratorio de biomasa, donde estaba ubicado el biodigestor. Ahí procedimos a pesar las bolsas con los desechos, y encontrar el valor neto de la bolsa. Luego se abrieron las bolsas y se sacaron todo lo que no era materia orgánica vegetal. Para luego ser pesadas y así encontrar el peso de solo lo que fuera materia orgánico vegetal.



Ilustración 40: Peso de las bolsas y la basura sacada de las bolsas

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará una tabla de los valores arrojados.

Tabla 14: Valores de los pesos obtenidos en cada bolsa

	Contenedor 1			Porcentaje de materia orgánica [%]
	Peso neto [kg]	Peso Materia Orgánica [kg]	Peso Materia Inorgánica [kg]	
Bolsa 1	5	4	1	80
Bolsa 2	6	4.5	1.5	75

	Contenedor 2			Porcentaje de materia orgánica [%]
	Peso neto [kg]	Peso Materia Orgánica [kg]	Peso Materia Inorgánica [kg]	
Bolsa 3	7	5	2	71.43
Bolsa 4	6	3.2	2.8	53.33

Fuente: Elaboración propia

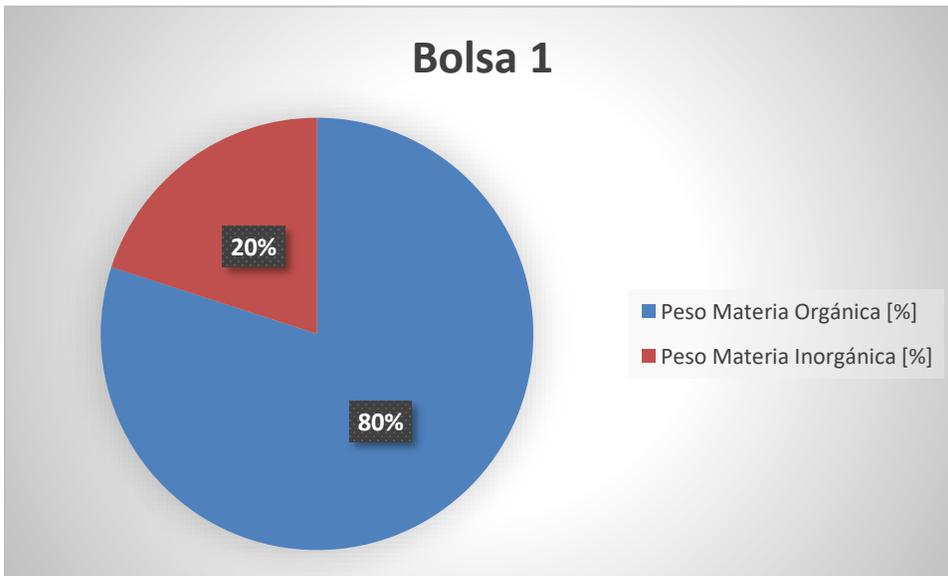


Ilustración 41: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 1

Fuente: Elaboración Propia

En la bolsa número uno se logró recabar después del muestreo que, el 80% del contenido de la bolsa era materia orgánica, es decir materia degradable. Tan solo el 20% era materia no aprovechable para el biodigestor.

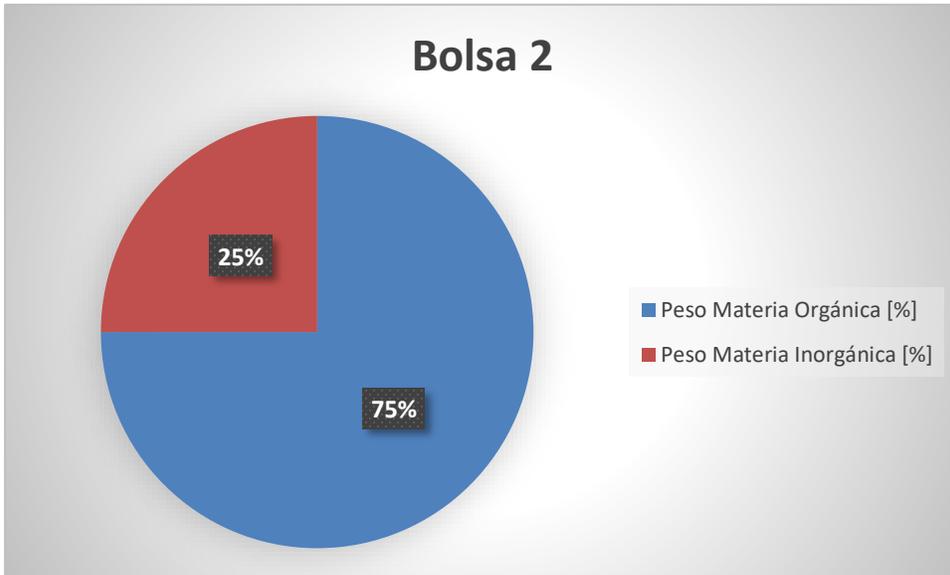


Ilustración 42: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 2

Elaboración Propia

En la bolsa número dos se logró recabar después del muestreo que, el 75% del contenido de la bolsa era materia orgánica, es decir materia degradable. Tan solo el 25% era materia no aprovechable para el biodigestor. Arrojando valores diferentes que de la bolsa uno.

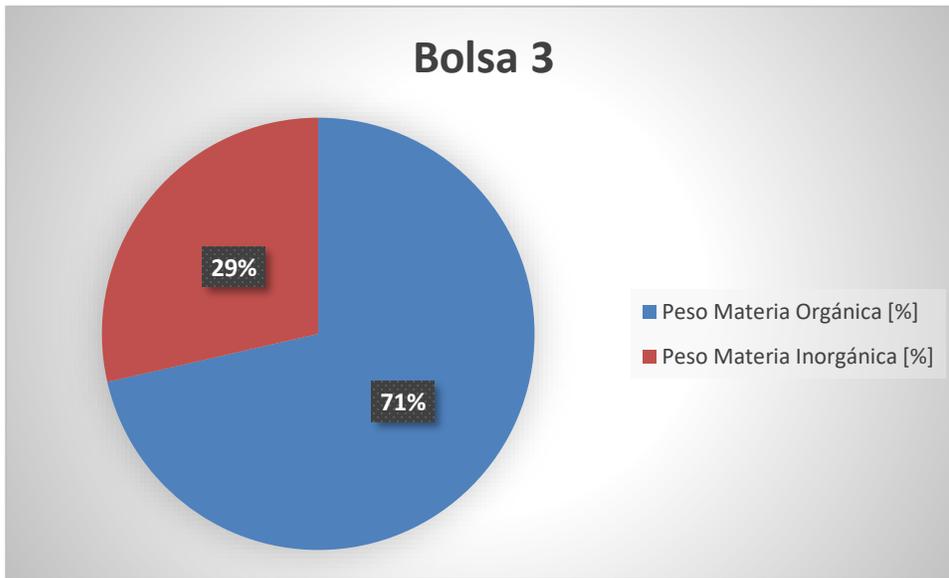


Ilustración 43: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 3

Elaboración Propia

En la bolsa tres se encontró que el 71% del contenido de la bolsa era materia orgánica, Tan solo el 29% era materia no aprovechable para el biodigestor. Los valores obtenidos fueron anotados para sacar un promedio global de las cuatro bolsas para encontrar el valor de materia orgánica en los contenedores.

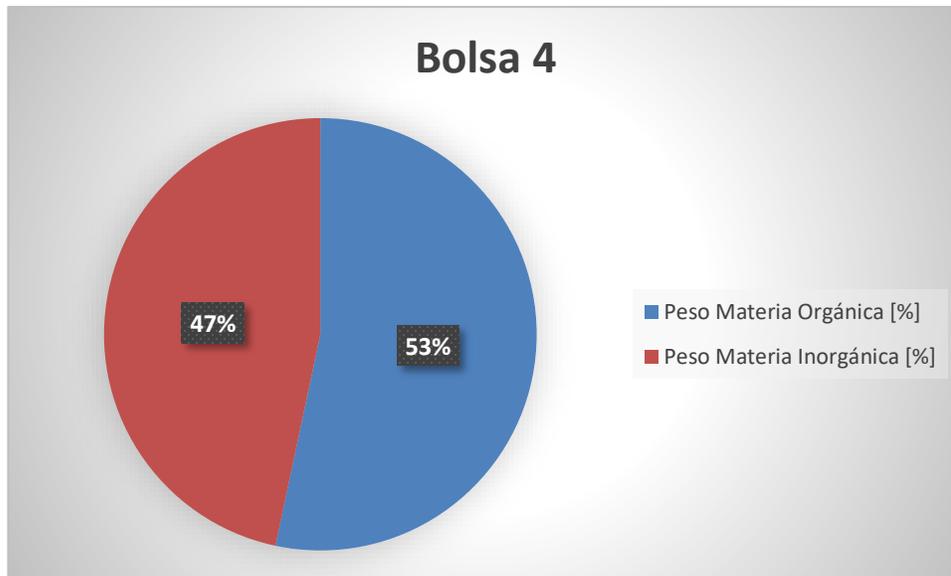


Ilustración 44: Distribución de desechos orgánicos e inorgánicos en bolsa 4

Elaboración Propia

La bolsa cuatro arrojó los valores más significativos que en las otras bolsas, dando valores más altos por materia no aprovechable que aprovechables. La bolsa cuatro arrojó que el 53% del contenido de la bolsa era materia orgánica, es decir materia degradable. El 47% era materia no aprovechable para el biodigestor.

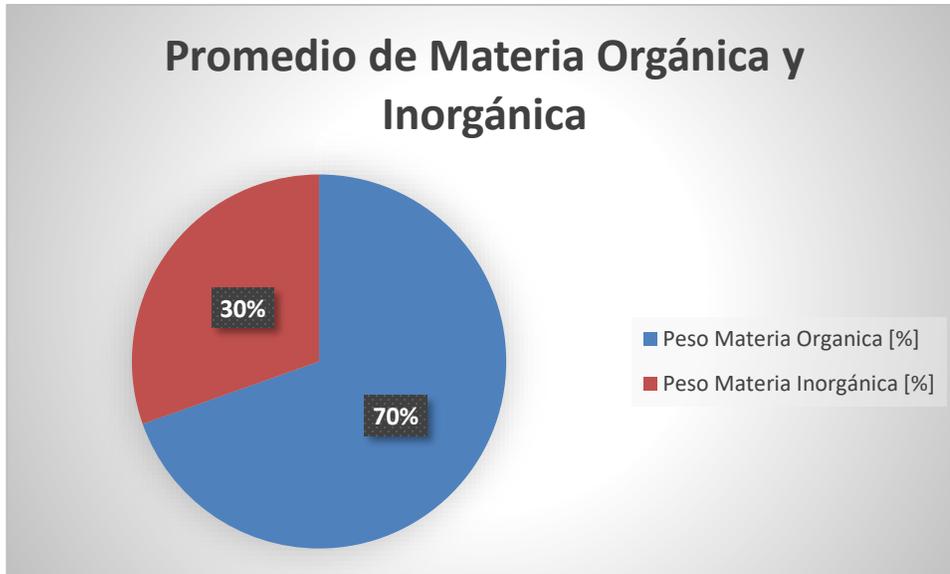


Ilustración 45: Promedio materia orgánicos e inorgánicos

Fuente: Elaboración Propia

La ilustración 51 muestra el promedio de materia aprovechable de las cuatro bolsas utilizadas en el muestreo en la central de abastos. El muestreo tuvo como fin encontrar la cantidad de materia orgánica aprovechable en promedio en los contenedores, arrojando valores útiles para la investigación del proyecto.

Una vez finalizada la muestra se logró concluir que en promedio un 69.94% eran desechos orgánicos los que eran vertidos en el contenedor. Teniendo un dato más certero para poder calcular el potencial energético de la materia orgánica.

Habiendo hecho el sondeo con los locatarios del lugar, y tomando en cuenta que en su mayoría no siempre se iban llenos. Utilizando los valores obtenidos por el sondeo en la central de abastos en la tabla 11. Se hicieron los siguientes cálculos.

$$36,000kg \left(\frac{4}{30} \right) + 468,000kg \left(\frac{26}{30} \right) = \frac{504,000kg}{mes}$$

Ecuación 4- Materia organica desechada por mes

Fuente: (Alanza, 2019)

El valor obtenido es la cantidad promedio total de desechos que son removidos de la central. Cabe mencionar que no se ha tomado en cuenta el promedio de desechos orgánicos obtenido anteriormente, ni el porcentaje de nivel de llenado hecho por los locatarios del lugar.

Se tomó en consideración el sondeo realizado con fines de investigación, concluyendo que en la mayoría de los casos los contenedores van casi llenos. Se tomó el porcentaje de ochenta como el nivel de llenado de los contenedores, se tomó como limitante este parámetro por no contar con un dato real.

$$\frac{504,000kg}{mes} \times 80\% = 403,200kg/mes$$

Ecuación 5- Promedio de llenado por contenedor

Fuente: Elaboración propia

El valor dado es la cantidad de promedio de desechos que en su mayoría sale de la central de abastos al mes.

Tomando ese resultado se procedió a sacar el valor real de materia orgánica de los desechos.

$$\frac{403,200kg}{mes} \times 69.94\% = 281,998.1kg/mes$$

Ecuación 6- Materia organica desechada al mes

Fuente: Elaboración propia

Los 281,998.1kg es la cantidad de materia orgánica disponible en la central de abastos. El valor final es la cantidad en kilogramos de materia orgánica vegetal promedio que es retirado por medio de los contenedores de Sulambiente.



Ilustración 46: Imagen de ambos contenedores utilizados para la investigación

Fuente: Elaboración propia

4.7. PARÁMETROS IDEALES PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Los parámetros ideales se basan en la función en que los cuerpos accionan y reaccionan sin tener pérdida, desde la eficiencia de un motor hasta en la pérdida por transmisión de una red eléctrica. También aplica en los biodigestores y en conversiones químicas.

La primera se utiliza para conocer la cantidad de materia seca disponible en la materia orgánica. La materia seca es el primer parámetro necesario para encontrar el potencial energético de la materia orgánica vegetal. Si se vierte una muestra de materia orgánica en un horno, la materia seca es el resultante de lo que queda. El porcentaje promedio de materia seca en materia orgánica es del 1 al 30%. (Moreno, 2011).

Dentro del parámetro establecido 1-30% de la materia existe un porcentaje de DQO aprovechable el cual puede ser utilizado para la producción de biogás. Como visto en el capítulo dos la demanda química es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica. "El ingeniero declaró que en promedio la DQO aprovechable es del 25% de la materia seca,

obteniendo nuestro segundo parámetro." (M. Gaido, comunicación personal, 19 de agosto de 2019). Este parámetro se mide por $\text{kg}^*_{\text{DQO}}/\text{kg}_{\text{materia vegetal}}$.

El último parámetro utilizado es el parámetro de conversión de $\text{kg}^*_{\text{DQO}}/\text{kg}_{\text{materia vegetal}}$ a m^3 de CH_4 , se debe dar cuenta que existen diversos valores dados en diferentes laboratorios. El valor promedio es del $0.35\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{DQO reducida}$. (Nogues & Galindo, 2019)

$$1 \text{ kgDQO} \sim 0.35\text{m}^3 \text{ CH}_4$$

Ecuación 7- Conversion de kilogram a metano por metro cubico

Fuente: (Nogues & Galindo, 2019)

Por último, se debe conocer la eficiencia de un biodigestor para conocer la cantidad de DQO que puede procesar y cuanto no. "El ingeniero Gaido afirma que la eficiencia de los biodigestores es buena, llegando a tener una eficiencia del 80%". (M. Gaido, comunicación personal, 19 de agosto de 2019).

4.8. CÁLCULO DE MATERIA SECA DISPONIBLE EN LA MATERIA ORGÁNICA VEGETAL

Se cercioró de encontrar el porcentaje disponible de materia seca dentro de la materia orgánica utilizada en la investigación. Para ello se debió conseguir una muestra de la materia orgánica en la Central de Abastos de San Pedro Sula. Se llevó la muestra a las instalaciones de Unitec donde se realizó la investigación. Se procedió a picar y moler bien la muestra obtenida. Una vez terminado el procedimiento se pasó a pesar la muestra, se debió pesar varias muestras, la pesa digital no fue lo suficientemente grande para pesar todo. Luego, se procedió a meterlo al horno a 105°C . Se dejó por varias horas el horno encendido para que la muestra liberara toda el agua retenida, se finalizó con sacar la muestra y pesar de nuevo. Obteniendo los valores y así poder sacar el porcentaje de materia seca disponible.

(El porcentaje de materia seca variaría según la materia orgánica que sea utilizada)

$$\%TS = \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

A = Peso del cubilete

B = Peso de la muestra + cubilete

C = Peso de la muestra horneada + cubilete

$$\%TS = \frac{173.84g - 104.46g}{605.43g - 104.46g} \times 100$$

$$\%MS = 13.84 \sim 14\%$$

Ecuación 8- Porcentaje de materia seca

Fuente: (Gaido, 2019).

El porcentaje de materia seca en la muestra de materia orgánica fue de 14%.

A continuación, se podrá ver detalladamente el procedimiento realizado.

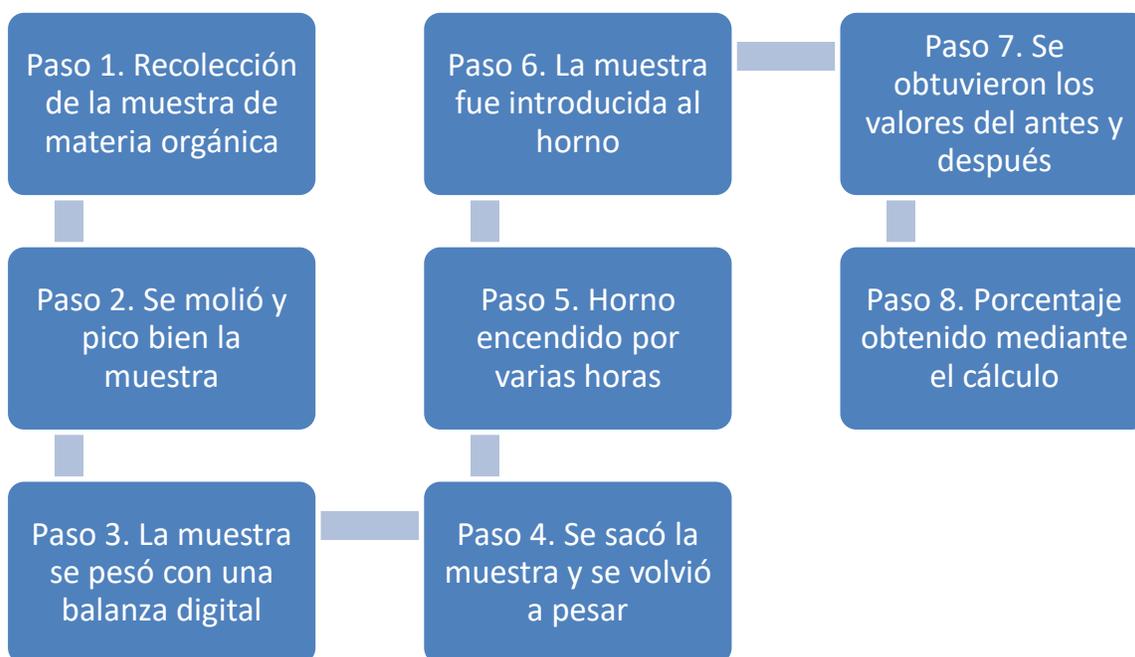


Ilustración 47: Proceso para encontrar el porcentaje de Materia Seca

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 48; Muestra de materia orgánica y la muestra picada

Fuente: Elaboración Propia

- Porcentaje obtenido mediante el cálculo



Ilustración 49: Peso de la muestra y el horno ya con la muestra

Fuente: Elaboración Propia

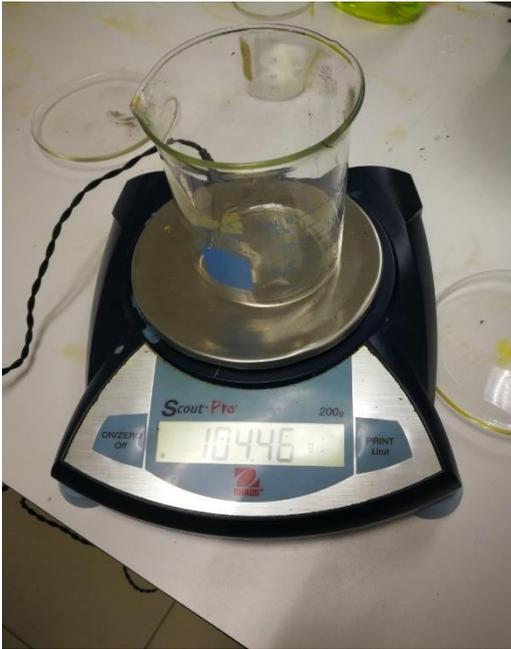


Ilustración 50: Peso del cubilete % peso de la muestra horneada

Fuente: Elaboración Propia

4.9. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para calcular el potencial energético disponible de la materia orgánica disponible. Se utilizaron parámetros que han sido analizados en laboratorios y utilizados como valores promedios para poder calcular el potencial energético. Se harán mención nuevamente;

1. Materia Seca
2. DQO aprovechable
3. Eficiencia del biodigestor
4. Biogás y equivalente

Tomando el primer punto, empezamos con que de la materia orgánica vegetal disponible por mes, un porcentaje de toda es materia orgánica es materia seca.

$$\frac{281,998.1kg}{mes} \times 14\% MS = 39,479.734kg$$

Ecuación 9- Porcentaje de materia seca

Fuente: (Gaido, 2019)

Tomando el valor logramos concluir que la cantidad dada es la cantidad de materia seca disponible en la materia orgánica.

Como visto en la sección anterior, tomando los parámetros de entrada necesarios para convertir los kilogramos disponibles de materia orgánica vegetal a metros cúbicos para la producción de biogás. "Como lo afirmó el ingeniero Gaido la DQO aprovechable es del 25% o el 1/4 de la materia seca." (M. Gaido, comunicación personal, 19 de agosto de 2019).

$$39,479.734kg \times 25\% DQO Aprovechable = 9,869.93 \frac{kg \times DQO}{kg * materia vegetal}$$

Ecuación 10 - Materia orgánica aprovechable

Fuente: (Gaido, 2019)

El resultado es la cantidad de kg de DQO por kg de materia vegetal aprovechable.

La eficiencia del biodigestor se debe tomar en cuenta, debido a que el biodigestor se encarga de remover el DQO de la materia seca ya dentro del biodigestor, el cual es del 80% (Gaido, 2019).

$$9,869.93 \frac{kg * DQO}{kg * materia vegetal} \times 80\% eficiencia = 7,895.95 Kg(DQO) Removidos$$

$$7,895.95 \frac{Kg(DQO)Removidos}{mes} \times 12 Meses = 94,751.362 Kg \frac{(DQO)Removidos}{año}$$

Ecuación 11- Kilogramos removidos por biodigestor

Fuente: (Gaido, 2019)

Para conocer la cantidad de metros cúbicos que pueden ser producidos por el DQO, deberá convertir los kg de DQO a metros cúbicos. Como visto anteriormente podemos calcular cuánto equivale un 1kg de DQO removido a metros cúbicos de metano. Cabe destacar que se deberá implementar filtros químicos o secos para remover el H₂S y otros elementos como oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua.

1 kgDOQ = 0.35 m³ CH₄(Puro) (Nogues & Galindo, 2019)

$$94,751.362Kg \frac{(DQO)Removidos}{año} \times 0.35m^3 CH_4 = 33,162.98 \frac{m^3 CH_4}{año}$$

$$33,162.98 \frac{m^3 CH_4}{año} \div 12 meses = 2,736.58 \frac{m^3 CH_4}{mes}$$

$$2,736.58 \frac{m^3 CH_4}{mes} \div 30 dias = 92.12 \frac{m^3 CH_4}{dia}$$

$$92.12 \frac{m^3 CH_4}{dia} \div 24 horas = 3.83 \frac{m^3 CH_4}{hora}$$

Ecuación 12-Produccion de biogas

Fuente: (Nogues & Galindo, 2019)

La potencia disponible se debe tomar en cuenta un parámetro de entrada, para encontrar la potencia disponible y potencia a instalar, dependerá del caudal (Blanco, Santalla, & Levy, 2017).

Utilizando la siguiente formula se logrará conocer la potencia disponible;

$$Potencia Disponible [kW] = \eta_t \times PCI_{Biogas} \times Q_{Biogas}$$

Ecuación 13- Potencia disponible 1

Fuente: (Blanco, Santalla, & Levy, 2017)

η_t = Rendimiento térmico de la generación eléctrica (motor). (%)

PCI_{Biogas} = poder calorífico del biogás (5kWh/m³)

Q_{Biogas} =Caudal de biogás (m³CH₄/hora)

Fuente: Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos:

Un análisis teórico-práctico.

$$30\% \times \frac{5kWh}{m^3} \times 3.83 \frac{m^3 CH_4}{hora} = 5.745[kW]$$

Ecuación 14- Potencia Disponible 2

Fuente: (Blanco, Santalla, & Levy, 2017)

La eficiencia de un motor de combustión interna tiene una eficiencia no mayor del 30-45% dependiendo del motor y de su ciclo (Diesel o Otto) variara su eficiencia (Tecnologías de generación de energía eléctrica a partir de biogás. , 2019).

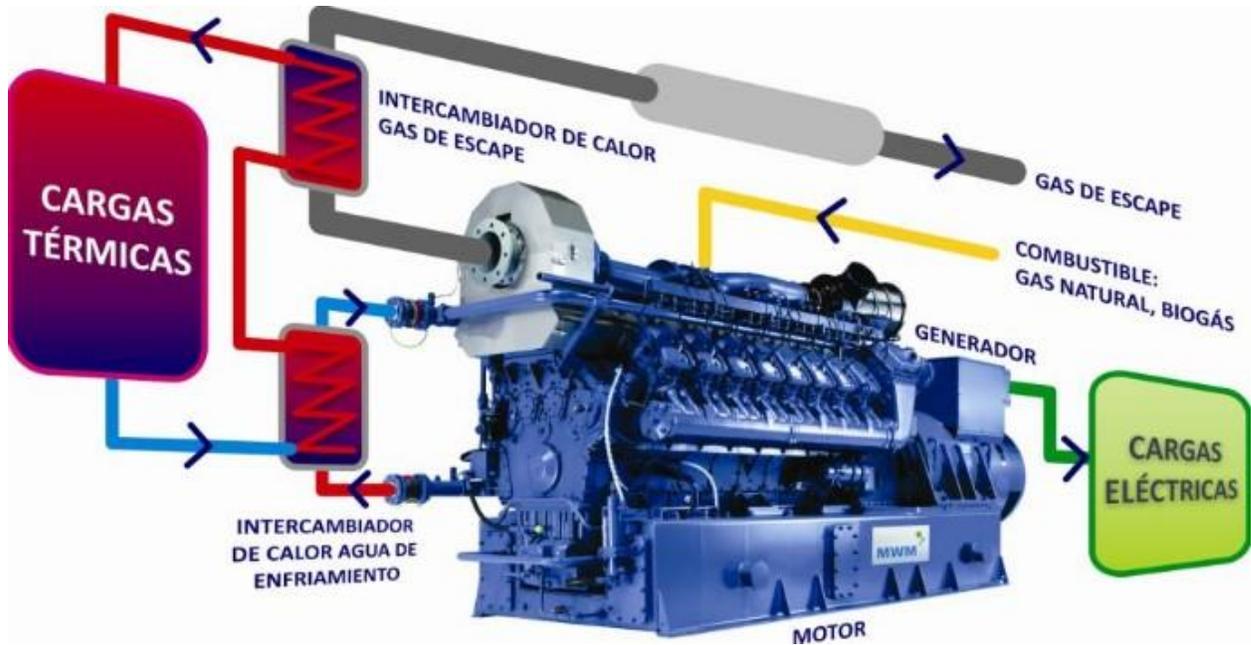


Ilustración 51: Motor de combustión interna

Fuente: Electríz Cogeneración

4.10. ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA

Para calcular la energía eléctrica producida se toman los siguientes parámetros establecidos.

Según el análisis de generación de electricidad a partir de biogás establece la siguiente formula a utilizar. Energía eléctrica

$$\begin{aligned} \text{Energía eléctrica [kWh/año]} &= (\text{Potencia disponible}) \times 0.85 (\text{Factor de disponibilidad}) \\ &\times 8,760 (\text{Horas que componen el año}) \end{aligned}$$

$$\text{Electricidad [kWh/año]} = [5.745\text{kW}] \times 0.85 \times 8,760$$

$$\text{Electricidad} = 42,777.27 \text{ [kWh/año]}$$

Ecuación 15- Energía electrica generada

Fuente: (Blanco, Santalla, & Levy, 2017)

La energía eléctrica para generar se estima en base a la potencia disponible, el factor de disponibilidad y las horas que componen un año. (Blanco, Santalla, & Levy, 2017). Cabe destacar que el factor de disponibilidad es un parámetro utilizado para cuantificar cuanto tiempo está el equipo en buen funcionamiento (Emerson, 2002).

Con la energía eléctrica generada a partir del biogás se tomará en cuenta la que con un sistema de cogeneración, un motor de combustión interna y un generador ayudara a suplir energía eléctrica a la central de abastos. Se requerirá de un sincronizador cuyo propósito será sincronizar la generación de energía del generador junto a la red nacional. La central de abastos contara con dos vidas de suministro eléctrico, debido al tamaño del generador no ocupara de una subestación.

4.11. AHORRO EN ENERGÍA ELÉCTRICA

Tomando en cuenta el consumo de energía eléctrica en la central de abastos desde de mes de octubre del año anterior se logró concretar lo siguiente, el promedio de consumo de energía es de 1,924,640.00 [kWh/año]. Para sacar el promedio anual, se sacó el promedio de los primeros seis meses del año presente y luego se multiplicó por 12 meses para así sacar el valor promedio de consumo anual por parte de la central.

Tabla 15: Promedio de consumo energía eléctrica

Mes	Consumo Energía Eléctrica (kWh)
Enero	150,420.00
Febrero	138,920.00
Marzo	162,840.00
Abril	154,100.00
Mayo	176,640.00
Junio	179,400.00
Promedio cinco meses	160,386.67
Promedio Anual	1,924,640.00

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando el valor obtenido en la ecuación 14 la generación la generación de electricidad por parte de la producción de biogás es de 42,777.27 [kWh/año].

$$\text{Porcentaje suministrado} = \frac{42,777.27[\text{kWh/año}]}{1,924,640.00[\text{kWh/año}]} \times 100$$

$$\text{Porcentaje suministrado} = 2.22\%$$

Ecuación 16 – Porcentaje suministrado a la central de abastos

Fuente: Elaboración Propia

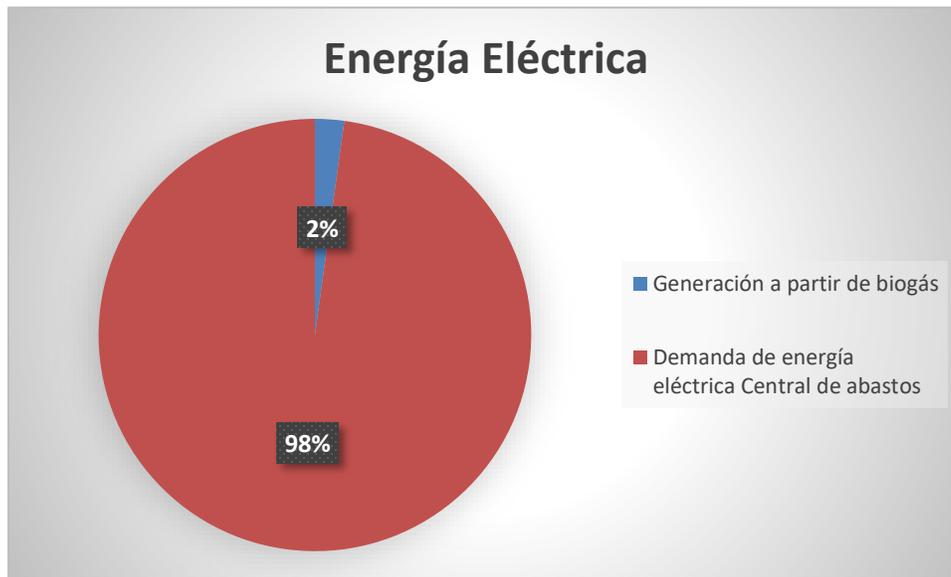


Ilustración 52: Porcentaje de generación y demanda

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 59 se puede ver reflejada la energía suministrada a partir de la generación de biogás en un biodigestor. La energía suministrada ayudaría a reducir en cierta medida la dependencia de la red nacional. Aliviando la carga económica de tener que pagar por el servicio de energía eléctrica. El porcentaje suministrado es del 2.2%.

En aspecto monetario el ahorro que reflejaría la tesorería de la central de abastos sería;

Tabla 16: Ahorro anual, sin inversión del proyecto

Ítem	Costo [Lps/kWh]	Generación Energía producto del biogás [MWh/año]	Ahorro [Lps]
Tarifa Baja Tensión	5.2364	42.77	L 223,998.90

Fuente: Elaboración Propia

4.12. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Para calcular el dimensionamiento del biodigestor se determina a partir del tiempo de retención hidráulica (TR) y la cantidad de sustrato diario introducido (Vcd), con la siguiente formula se pudo calcular el volumen del biodigestor (Vd) (ESPE, n.d.):

$$Vd [m^3] = TR [días] \times Vcd \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

$$Vd [m^3] = 30 \text{ días} \times 4.21 \frac{m^3}{día}$$

$$Vd = 126.33 m^3$$

Ecuación 17- Dimensionamiento del biodigestor

Fuente: (ESPE, n.d.)

Se consideró que el tiempo de retención es de 30 días, si tuviera un mayor tiempo de retención se consigue una mayor producción de gas.

El volumen del sustrato introducido se sacó de la cantidad de DQO removidos, que diariamente son de 263.198 kg, más la cantidad de agua que se añade, que en este caso es de 3947.97 litros, haciendo un total de 4.21 m³.



Ilustración 53: Área del dimensionamiento del biodigestor

Fuente: Google Earth

4.13. ANÁLISIS FINANCIERO

En esta sección se analizan los costos involucrados, tanto de inversión total, como la de operación y mantenimiento. Los siguientes supuestos fueron usados en la evaluación económica del proyecto:

1. Se considera un ciclo de vida del proyecto de 20 años
2. Se consideró dos escenarios uno sin financiamiento y el otro con financiamiento
3. Para la opción con financiamiento la empresa debe disponer del 30% del costo del proyecto como inversión al capital (Flores Castro, 2016), por ende, el 70% pasarían a un préstamo especial para proyectos de energía renovable con eficiencia energética. Se asume que el financiamiento externo del proyecto se gestionará a través de un crédito comercial para proyectos de energía renovable con una tasa de 11.5% anual para créditos en dólares, con un tiempo de préstamo de 10 años (Flores Castro, 2016).

4. El proyecto empezará a producir al 100% de su capacidad a partir del segundo año después de la inversión/construcción/puesta en marcha.

A parte de los costos de inversión de equipos, también se consideran los costos de la planificación y el trámite de permisos, como la preparación y supervisión de la obra, la planificación en detalle, puesta en marcha, transporte de equipos especiales e imprevistos. En la siguiente tabla se puede observar todos los costos necesarios para la inversión total. Los costos son valores que se realizaron en base a otros estudios financieros para biodigestores en Honduras, se hizo una relación para obtener estos costos. El proyecto gozará de la exoneración de impuestos y aduaneros del importe según el marco legal de la Ley para la Producción y Consumo de Biocombustibles (Decreto No. 144-2007).

Tabla 17: Inversión total

Costo	Rubro	Costo anual o unitario	Unidad	Costo total acumulado a valor presente [\$]	
Preparación del Terreno					
C o s t o s d e I n v e r s i ó n	Excavación de lagunas	\$ 83.33	\$/kW	\$ 416.67	
	Deposito de tierra	\$ 20.00	\$/kW	\$ 100.00	
	Ingeniería				
	Planificación de permisos y licencias	\$ -		\$ 166.67	
	Preparación de la obra, supervisión	\$ -		\$ 33.35	
	Imprevistos	173.5	\$/kW	865	
	Planificación en detalle	\$ 86.50	\$/kW	\$ 432.50	
	Instalación de Maquinaria y Equipo				
	Membrana de suelo lagunas anaeróbicas	\$ 66.67	\$/kW	\$ 333.33	
	Membrana de gas lagunas anaeróbicas	\$ 634.00	\$/kW	\$ 634.00	
	Canales y tubería agua residual incl. Válvulas	66.67	\$/kW	\$ 333.33	
	Bomba de sustrato incl. Distribuidor	\$ 6.67	\$/kW	\$ 33.33	
	Primera bomba	\$ 3.33	\$/kW	\$ 16.67	
	Bomba efluente	\$ 3.33	\$/kW	\$ 16.67	
	Membranas de suelo laguna de recepción	\$ 10.00	\$/kW	\$ 50.00	
	Membrana de suelo laguna hidrolisis	\$ 13.33	\$/kW	\$ 66.67	
	Membranas de gas laguna hidrolisis	\$ 20.00	\$/kW	\$ 100.00	
	Agitadores laguna de recepción	\$ 3.33	\$/kW	\$ 16.67	
	Agitadores laguna de hidrolisis	\$ 13.33	\$/kW	\$ 66.67	
	Instalaciones internas biodigestores	\$ 33.33	\$/kW	\$ 166.67	
	Tubería y tratamiento del biogás	\$ 66.67	\$/kW	\$ 333.33	
	Intercambiador de calor	\$ 13.33	\$/kW	\$ 66.67	
	Tubería intercambiador	\$ 16.67	\$/kW	\$ 83.33	
	Antorcha de gas	\$ 10.00	\$/kW	\$ 50.00	
	Motor de Combustión Interna Otto	\$ 700.00	\$/kW	\$ 3,500.00	
	Conexión a la red	\$ 16.67	\$/kW	\$ 833.33	
	Control electrónico, visualización	\$ 66.67	\$/kW	\$ 333.33	
	Instalaciones adicionales	\$ 66.67	\$/kW	\$ 333.33	
	Puesta en marcha	\$ -		\$ 500.00	
	Transporte de equipos	\$ 13.33	\$/kW	\$ 66.67	
Separación incl. Sistema de tratamiento	\$ 200.00	\$/kW	\$ 1,000.00		
Total costos de inversión				\$ 10,948.19	

Fuente: (COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO (GIZ), 2013)

Los costos de operación y mantenimiento se pueden observar en la tabla 13, se reparten por costos de mantenimiento (material y mano de obra), mano de obra de la supervisión, coordinación y administración de la planta, utillaje, análisis de laboratorio e imprevistos. Se asume que la materia prima no tiene ningún costo, ya que proviene de los desechos de la central de abastos de San Pedro Sula.

Tabla 18: Costos de operación y mantenimiento anuales

Costos de operación y mantenimiento	Mano de obra supervisión	\$ 3.46	\$ 17.28
	Administración proyecto	\$ 4.10	\$ 20.51
	Coordinación proyecto	\$ 4.10	\$ 20.51
	Mantenimiento (materiales, repuestos y mano de obra)	\$ 65.39	\$ 326.93
	Mantenimiento del motor	\$ 88.43	\$ 442.12
	Utillaje	\$ 8.33	\$ 41.67
	Análisis laboratorio	\$ 10.00	\$ 50.00
	Imprevistos	\$ 25.44	\$ 127.18
Total costos de O&M			\$ 1,046.20

Fuente: (COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO (GIZ), 2013)

Para obtener los indicadores económicos del proyecto, se llevó a cabo un análisis financiero. Donde se tiene parámetros de entrada, a continuación, se puede observar:

Tabla 19: Parámetros de entrada

Parámetros de entrada	
Tasa de inflación %	1.50%
Tarifa energía eléctrica baja tensión (\$/kWh)	\$ 0.173
Incremento en tarifa anual %	1.5
Costo total de instalaciones	\$ 10,948.19
Inversión de fondos propios %	20%
Inversión fondos propios \$	\$ 2,189.64
Deuda %	80
Deuda \$	\$ 8,758.55
Tasa de interés préstamo %	13.20%
Plazo de préstamo (años)	10
Seguros (% de costo total de instalación)	0.05
Ciclo de vida de proyecto (años)	20

Fuente: Elaboración Propia

Con estos parámetros se pudo hacer el flujo de caja, considerando los dos diferentes escenarios.

Al final se obtuvo los siguientes resultados en base al análisis financiero:

Tabla 20: Parámetros de salida

Parámetros de salida	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Periodo de recuperación de inversión (años)	2.05	0.60
Tasa interna de retorno (TIR) %	50%	169%
Valor actual Neto \$	\$ 112,841.65	\$ 939,335.59
Retorno de inversión (ROI) %	1031%	42899%
LCOE (\$/kWh)	\$ 0.07	\$ 0.06

Fuente: Elaboración Propia

4.14. ANÁLISIS AMBIENTAL - POST TRATAMIENTO; EFLUENTES

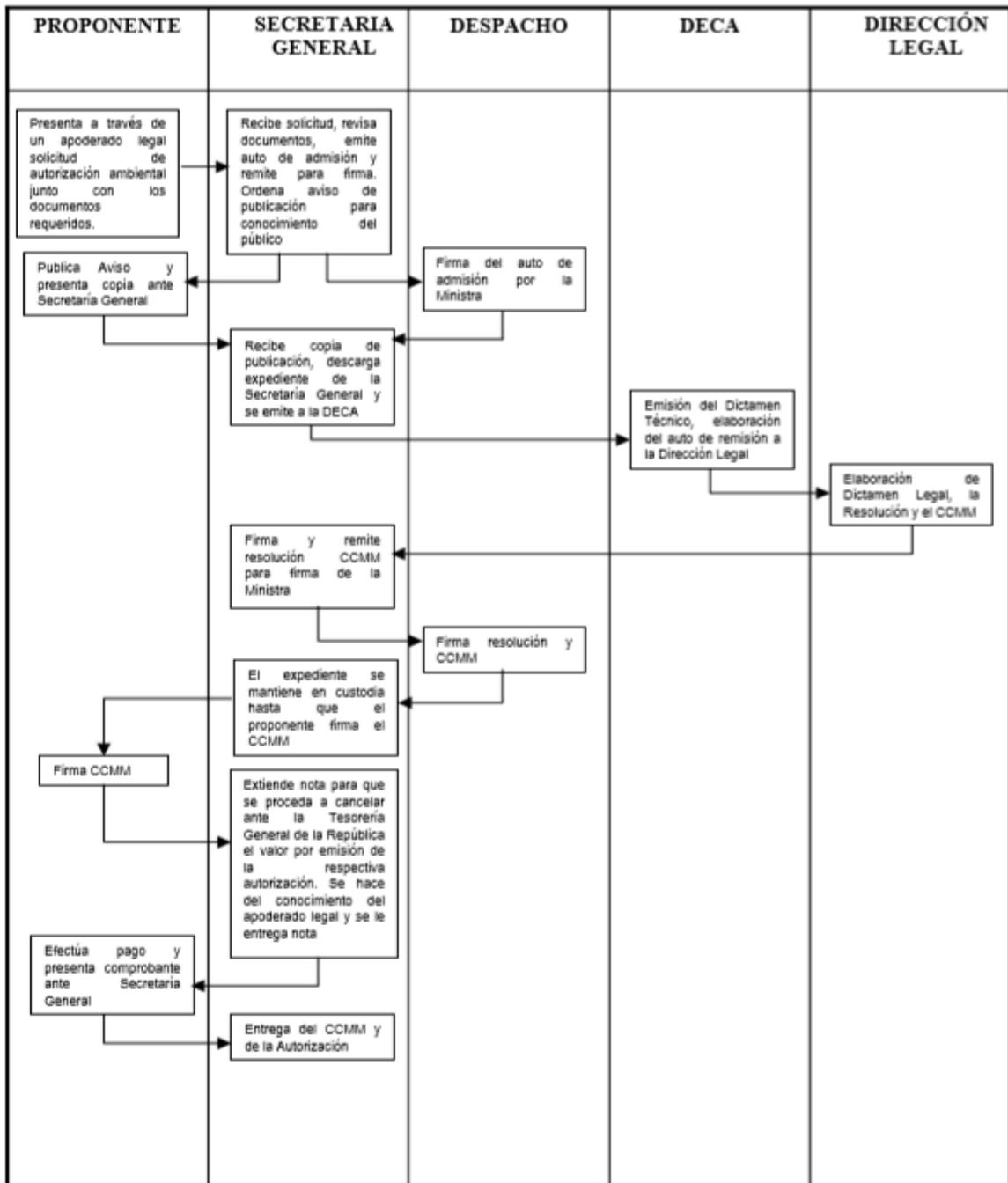
En vista a que el proyecto de un biodigestor para autoconsumo en la Central de Abastos es de categoría 2 en base a la Dirección General de Evaluación y Control Ambiental, se le considera al proyecto de un biodigestor en el área respectiva de Biomasa como un proyecto de mediano impacto, pero por su capacidad y área a utilizar se podría considerar también como de bajo impacto. El proyecto deberá presentar en su solicitud de autorización un diagnóstico ambiental de su proyecto, identificando claramente su ubicación y las características de su entorno, con el objetivo de poder dictaminar sobre su autorización para el inicio de operaciones, con el fin de evitar perjuicios ni demoras al ser objeto de una evaluación posterior por faltas relacionadas con licenciamiento o daños al medio ambiente (DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL, 2003).

6. Sector Energético					
Hidroeléctrica	Mw.	$\geq 0.5, \leq 1$	$>1, \leq 3$	> 3	
Eólico	Mw.		≥ 5		
Fotovoltaico	Mw.	≥ 0.1			
Biomasa	Mw.		≥ 3		
Geotérmica	Mw.		≥ 5		
Plantas térmicas (por combustión fósil)	Mw.		$\geq 0.5, \leq 1$	> 1	
Subestaciones eléctricas	Tamaño		Todas		
Líneas de transmisión	localización		centros poblados	con apertura de brechas	
Almacenamiento de Hidrocarburos	Gal.	$\geq 1,000, \leq 6,000$	$> 6,000, \leq 20,000$	$> 20,000$	
Oleoductos o gasoductos	Tamaño			Todos	
Estaciones de servicio de hidrocarburos	Tamaño		Todas		
Terminales de Hidrocarburos (Muelles)	Tamaño			Todas	

Ilustración 54: Categorización de impacto según el tipo de proyecto

Fuente: (DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL, 2003)

PROCESO DE AUTORIZACIÓN AMBIENTAL PARA PROYECTOS CATEGORÍA 2



* Cuando el trámite de autorización ambiental sea dentro de la jurisdicción de las Alcaldías con las cuales SERNA a suscrito convenio (Distrito Central, San Pedro Sula y Puerto Cortés), la documentación deberá ser presentada ante la Municipalidad respectiva.

Ilustración 55: Proceso de autorización para un proyecto categoría 2

Fuente: (DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL, 2003)

En la ilustración 54 se puede visualizar el proceso o los pasos a llevar para la autorización correspondiente de un proyecto de categoría dos. La ilustración muestra los pasos a seguir para poder contar con el permiso correspondiente, tomando en cuenta su categoría en la rama de Biomasa y su impacto que este generará al medio ambiente. En base a lo obtenido se podrá saber a qué sector se debe avocar para sacar los permisos pertinentes. Todo proyecto que genere un impacto ambiental deberá ser monitoreado por los entes estatales o municipales encargados, con el fin de promover una solución eficaz y sostenible que mitigue las acciones humanas (Impacto Ambiental, 2018). Se debe mencionar que sacar un permiso ambiental puede recurrir en un proceso que podría tomar tiempo, se debe investigar, evaluar, dictaminar y priorizar las acciones del proyecto que mitiguen su impacto ambiental. Se tomó como referencia los datos obtenidos de la Dirección General de Evaluación y Control Ambiental).

Los efluentes resultantes de la biodigestión dentro de un biodigestor son dos; agua, y el lodillo tipo pasta, estos generaran un impacto ambiental si no son atendidos y procesados de manera sostenible, con el fin de reducir el impacto que estos generarían.

Uno de los problemas de un biodigestor es o son los efluentes que salen de él. Debido a que se debe tener un apropiado tratamiento post función, por normativa ambiental y desperdicio. Los efluentes deben ser controlados, para evitar el acumulamiento de estos dentro del biodigestor. Puesto que al aumentar el volumen dentro del biodigestor reduciría el espacio para la producción de biogás. Los efluentes al salir contienen una gran cantidad de nutrientes y minerales que pueden ser considerados como contaminantes. Los cuales deben ser reducidos y tratados por medio de filtros, pozos, evaporadores o secadores (FAO, 2017).

4.15. EXCEDENTES DE BIOGÁS

Para tratar los excedentes de biogás, se toma en consideración la implementación de un quemador de biogás. El propósito de un quemador o una antorcha de biogás es la quema del exceso de biogás. Como seguridad y control de la misma planta, dada la razón de que la presión que ejercería el gas sobre la lona formando rupturas en las mismas. Causando una fuga de gas y generando un problema ambiental.

4.16. TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Para tratar los efluentes de un biodigestor, se tomó en consideración el espacio limitado que posee la central. Debido a planes futuros para las tierras que tienen. Se consideró como factor la parte ambiental y el control del efluente. El control del efluente son análisis que se toman al efluente como control para conocer el nivel de contaminantes permisibles.

Evaporador

1. El evaporador se encargaría de eliminar el agua por medio de la evaporación, el agua viajaría por las tuberías que se calentarían a ciertos grados de temperatura (Evaporadores Multiple efectos, 2019).

Secador tambor rotativo

2. El secador tambor tomaría como papel, secar la pasta saliente del biodigestor, eliminando la humedad del lodillo. Para ello se puede redirigir el calor emanante del escape del motor de combustión hacia el secador, reutilizando el escape como el calentador primario del secador. Este al secarse puede ser comercializado como abono.

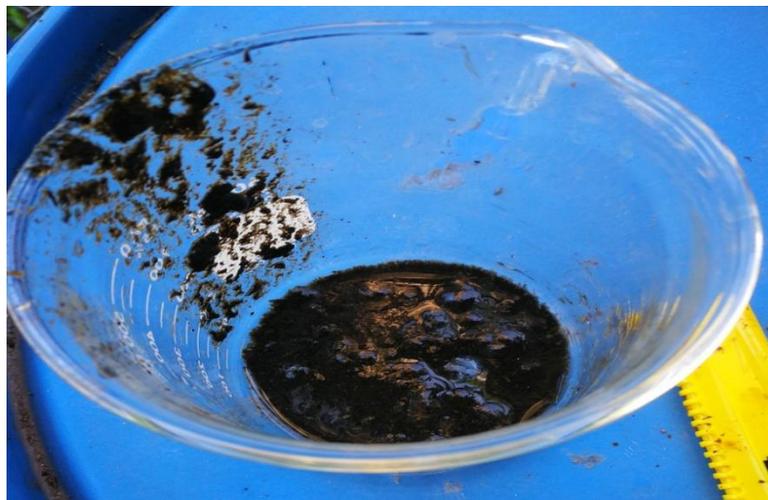


Ilustración 56: Muestra del lodillo sacado del biodigestor

Fuente: Elaboración propia

Filtros secos o químicos

3. Los filtros tendrían como función filtrar el H_2S producto del biogás, evitando así el deterioro del motor de combustión. Tanto el evaporador como el secador tambor rotativo ayudarían a eliminar la necesidad de construir unos pozos filtradores de efluentes del biodigestor, reduciendo costos y espacio a utilizar.

V. CONCLUSIONES

Se llevo a cabo un estudio de factibilidad técnico-financiero de un biodigestor para la central de abastos de San Pedro Sula, en la cual se identificó que el 30% de los ingresos se van en la factura eléctrica. Para lograr la producción de biogás, se necesitó llevar a cabo varios pasos: selección de materia orgánica, se vertió inóculo de palma en el biodigestor, se preparó la mezcla de materia orgánica con agua. Este proceso duro 6 semanas, en la cual en la semana 2 se pudo observar la producción de biogás en el biodigestor. Después se hizo un análisis para obtener cuanto biogás se generó a partir de la materia orgánica, al tener este dato se pudo saber cuánta electricidad va a generar el biodigestor. También se hizo un análisis financiero para saber cuál es el costo de la inversión y ver si es factible el proyecto en la central de abastos. Estos fueron los hallazgos que encontramos:

1. Se identificó los vegetales utilizados en el proceso de alimentación para la bacteria metanogénica, cabe destacar que también que los vegetales utilizados eran de lo más visto y recolectado en los contenedores de basura ubicados en la central de abastos de San Pedro Sula.

Lechuga	Brócoli
Repollo	Coliflor
Rábano	Habichuela
Pepino	Espinaca
Perejil	Cilantro
Apio	

2. Se llevó a cabo un proceso de la basura que desechan diariamente en la central de abastos, aproximadamente son 18 toneladas, eso equivale a 18,000 kg/día. Mensualmente son 403,200 kg, del cual el 69.94% es materia orgánica que es igual a 281,998.1 kg.
3. La cantidad de biogás que se podría generar con el biodigestor diariamente es de 92.22 m³CH₄/ día, con un total de 33,162.98 m³CH₄/ año.
4. La generación de energía eléctrica que se generaría con el biogás obtenido del biodigestor es de 42.77 MWh/año, eso equivale que diariamente se va a suplir 118.83 kWh/día.

5. La demanda promedio de energía eléctrica en la central de abastos de San Pedro Sula es de 1,924.64 MWh/año. Con la generación de energía eléctrica que proviene del biodigestor que es de 42.77 MWh/año, se va a tener un ahorro del 2.22% de la demanda de energía eléctrica, eso equivale a Lps. 223,998.90 anual.
6. Se logró encontrar que la TIR era mayor al 13.20% dando como resultado el 50%, proyectando la factibilidad del proyecto.

Se espera que, para beneficio del lector y para quien desee continuar con la investigación tome en cuenta los aspectos técnicos y procedimientos correspondientes vistos en la investigación para una adecuada producción de biogás. Siempre tomando en cuenta tanto la materia orgánica utilizada en la producción de biogás, así como los procedimientos diarios que se requirieron y los parámetros financieros necesarios para la elaboración del proyecto como tal. Haciendo caso a las limitantes de proyecto, tiempo y que para quien desee implementar el proyecto con fines académicos u otros tenga la misma dedicación, empeño y esmero el cual se dedicó en este proyecto investigativo.

Se debe mencionar que hubo limitantes en la investigación del proyecto, se hace mención al tiempo y espacio del biodigestor y el espacio en la central de abastos. Debido al tiempo académico limitado se tuvo que utilizar un catalizador en este caso el inóculo de palma para acelerar el proceso de producción de biogás. El espacio del biodigestor utilizado como laboratorio fue otra limitante debido a la cantidad limitada de materia orgánica que se podía verter sobre el biodigestor. El espacio a proyectar el biodigestor en la central de abastos fue limitado por motivos ajenos a nuestros conocimientos. No teniendo estas limitantes el análisis de resultados pudieron haber sido diferentes a los obtenidos. Se puede hacer mención a las oportunidades de mejora, como la selección de ciertos vegetales en la central de abastos a utilizar, aumentar el tiempo de investigación y el tiempo de biodigestión para una producción de biogás más adecuada. Otra oportunidad de mejora puede ser la utilización de un biodigestor de mayor capacidad volumétrica, ayudaría a la producción de biogás sea mayor.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda establecer un programa de clasificación de la basura para facilitar la identificación de la materia prima disponible para el biodigestor.
2. También se recomienda clasificar la materia orgánica según su contribución a la producción de metano.
3. Para aumentar la producción de metano dentro del biodigestor se podría analizar la opción de utilizar las aguas residuales de la central de abastos, debido a los niveles de metano que estos poseen.
4. Para aumentar la producción de energía eléctrica a partir de biogás se puede optar con la recolección de materia orgánica en los alrededores de la central, se aumentaría la producción de biogás y aumentaría la generación de energía eléctrica.
5. Se puede optar el estudio y la utilización de otro sistema de energía renovable que pueda suplir un porcentaje dado a la demanda de energía eléctrica de la central.
6. Con el ahorro dado por medio de la generación de biogás se puede optar por medidas de ahorro, implementación de un sistema renovable, y cambios en los aparatos de alto consumo dentro de la central y reducir más su demanda energética.
7. La vida útil de un biodigestor es de 15 a 20 años, por lo que se recomienda mantener una buena limpieza y así tener más tiempo de vida útil.
8. Se recomienda que en vista de ser un proyecto de categoría 2 se deberá tener los permisos pertinentes de evaluación de impacto ambiental, tomando en consideración los efluentes y también sus beneficios utilizando un equipo de post tratamiento.
9. Se sugiere que se usen 3 biodigestores más, ya que el biodigestor no trabaja las 24 horas, y al tener 3 biodigestores se pueden ir alternando y así tener una generación de 24 horas al día.

VII. APLICACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Durante el proyecto de investigación, se necesitaron los conocimientos de varias clases que se cursaron en la universidad UNITEC. A continuación, se conocerán la distribución:

1. Para tener conocimiento en biodigestores, materia útil para el funcionamiento del biodigestor, se necesitó el conocimiento de la clase de biomasa y biocombustibles. Se utilizó los temas de operación de un biodigestor, como también fue útil el laboratorio de biomasa.
2. La clase de química fue de gran provecho por que se manejaron términos de química orgánica e inorgánica. Como el nombramiento de elementos y composición del biogás.
3. La clase de termodinámica fue de gran ayuda para entender los procesos de temperatura con respecto a la producción de biogás.
4. La clase de máquinas térmicas fue de gran ayuda porque se implementaron los conocimientos sobre motores de combustión interna, de cómo era su funcionamiento, su eficiencia.
5. Una de las clases que más se utilizó fue mecánica de fluidos, ya que se manejó con tuberías para el uso del biodigestor y saber la presión necesaria en la tubería. Por problemas ocurridos en el biodigestor que se utilizó en la investigación.
6. La clase de termo solar y fotovoltaica fue de gran ayuda al momento que se realizó el análisis financiero, ya que en esa clase se hizo un estudio de factibilidad.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alanza. (4 de Agosto de 2019). Obtenido de Alanza : <http://alanza.hn/>

Balboa, L. H. (2017). *OBTENCION DE BIOABONO POR DIGESTION ANAEROBICA DE CASCARAS DE NARANJA Y ESTIERCOL.*

Blanco, G., Santalla, E., & Levy, A. (March de 2017). *Generacion de electricidd a partir de bigas capturado de residuos solidos urbanos.* Obtenido de [file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Generación-de-electricidad-a-partir-de-biogás-capturado-de-residuos-sólidos-urbanos-Un-análisis-teórico-práctico%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Generación-de-electricidad-a-partir-de-biogás-capturado-de-residuos-sólidos-urbanos-Un-análisis-teórico-práctico%20(1).pdf)

COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO (GIZ). (2013). *Análisis de factibilidad de la producción de biogás con aguas residuales de la producción de aceite de palma (POME) en el plantel de COAPALMA ECARA, Tocoa.*

DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL. (DECEMBER de 2003). Obtenido de [file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/10753/Attachments/Procedimientos%20Procesos%20Licenciamiento%20AmbientaL%20DECA\[14996\].pdf](file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/10753/Attachments/Procedimientos%20Procesos%20Licenciamiento%20AmbientaL%20DECA[14996].pdf)

Emerson. (2002). Obtenido de Disponibilidad : <https://www.emerson.com/documents/automation/training-bussch-oe-102es-es-41724.pdf>

EMISON. (14 de November de 2014). *La función de la antorcha quemadora de biogás en la estación depuradora de aguas residuales.* Obtenido de Aguas residuales : <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/la-funcion-de-la-antorcha-quemadora-de-biogas-en-la-estacion-depuradora-de-aguas-residuales>

EMISON. (14 de November de 2014). *La función de la antorcha quemadora de biogás en la estación depuradora de aguas residuales.* Obtenido de AGUASRESIDUALES.INFO:

<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/la-funcion-de-la-antorcha-quemadora-de-biogas-en-la-estacion-depuradora-de-aguas-residuales>

EMISON. (29 de August de 2019). *Estudio de tratamiento gases con SH2*. Obtenido de EMISON:
<http://www.emison.com/filtros%20de%20acero.htm>

Energia, M. d.-g. (28 de June de 2017). *Usos del biogas*. Obtenido de Mobius:
<http://mobius.net.co/usos-del-biogas/>

ESPE, R. I. (s.f.). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/308/9/T-ESPE-026444-5.pdf>

Espinoza, B. (2015). *RE-INGENIERÍA DE UN SECADOR ROTATORIO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS*. Obtenido de Repositorio :
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12702/1/TESIS%20-%20REINGENIERIA%20DEL%20SECADOR%20ROTATORIO.pdf>

Estufas y hornos para laboratorio: para análisis durante fabricación o transformación de materiales. (4 de September de 2019). Obtenido de Bautermic, S.A.:
<https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Estufas-y-hornos-para-laboratorio-43094.html>

Evaporadores Multiple efectos. (29 de August de 2019). Obtenido de EPSE,;
<http://epsem.upc.edu/evaporacio/DEFINITUI1/MULTIPLEEFECTO+ALIM.html>

FAO. (Diciembre de 2017). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y El Caribe*.

Fases de la digestion anaerobica. (8 de August de 2007). Obtenido de aqualimpia:
<https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>

Flores Castro, W. C. (2016). *El sector energía de Honduras: aspectos necesarios para su compresión*. Tegucigalpa: Imprenta El Country.

Gaido, I. M. (17 de Julio de 2019). *Digestion Anaerobica*. (D. Rivera, Entrevistador)

Gas Data. (27 de August de 2019). Obtenido de GFM Series portable gas analyser:
<http://www.gasdata.co.uk/product-info-category/gfm-series-portable-gas-analysers/>

- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Mexico DF: Prentice Hall Inc.
- Hernandez, Z. P. (October de 2010). Equipo Maquinas E Instalaciones Industriales. *Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda*, 11. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6qXOAQT1v-oJ:https://emiiunefmzp.files.wordpress.com/2010/10/secadores-mio32.doc+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=hn>
- Impacto Ambiental*. (22 de December de 2018). Obtenido de ECOLOGIAHOY: <https://www.ecologiahoy.com/impacto-ambiental>
- Jervis, T. M. (2 de September de 2019). *¿Qué son las Variables de Investigación?* Obtenido de lifeder: <https://www.lifeder.com/variables-de-investigacion/>
- M, O. H. (28 de December de 2007). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÌ*. Obtenido de DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO- IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Mecafenix, F. (13 de March de 2018). *Pirómetro ¿Que es y como funciona?* Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/otros/medicion/pirometro/>
- Medidas Preventivas Ante Emanaciones de Acido Sulfhidrico*. (29 de August de 2019). Obtenido de ACHS: <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/medidas-preventivas-ante-emanaciones-de-acido-sulfhidrico.pdf>
- Merino, J. P. (2015). *Definicion de Anaerobio* . Obtenido de Definicion.DE: <https://definicion.de/anaerobio/>
- Moltoni, A., & Huerga, I. (s.f.). *Caracterización Térmica de un Biodigestor para el Tratamiento de*. Obtenido de [Agroelectronica.inta.gob.ar](http://agroelectronica.inta.gob.ar): <http://agroelectronica.inta.gob.ar/sites/agroelectronica.inta.gob.ar/files/u2/30.%20biodigestor.pdf>
- Moreno, M. V. (2011). *Manual de Biogas*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.

- Nogues, F., & Galindo, D. (29 de August de 2019). *Energia de la Biomasa Volumen II*. Obtenido de Energias Renovables: <https://books.google.hn/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA143&lpg=PA143&dq=porcentaje+dqo+en+materia+seca&source=bl&ots=hBsIF-nbqx&sig=ACfU3U3fR9tPjKOz6VvQKo23B9Um0VMUKA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjsubKpvqfkAhWwzlkKHx8fBzwQ6AEwCnoECAkQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Putri, R. (31 de Julio de 2019). *Student Energy*. Obtenido de BIODESTION: <https://www.studentenergy.org/topics/biodigestion>
- Romero, F. O. (31 de July de 2017). *PH en el cuerpo y PH en el agua*. Obtenido de ECOVIDASOLALR: <https://www.ecovidasolar.es/blog/ph-en-el-cuerpo-y-ph-en-el-agua/>
- Romero, G. (September de 2017). *¿QUE ES EL BIOGÁS?* Obtenido de AQUIA LIMPIA ENGINEERING: [file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/QUE-ES-EL-BIOGAS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Daniel%20Rivera/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/QUE-ES-EL-BIOGAS%20(1).pdf)
- Salvador , A., Alcaide, A., & Sanchez, C. (2005). *Evaluacion de impacto ambiental*. Madrid: PEARSON-PRENTICE HALL.
- Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la Investigacion* .
- Sanchez, E. (2011). *Compendio de Legislacion Ambiental*. Obtenido de miambiente: <http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/retccesco/None/2018-07-19/16:44:39.501486+00:00/compendiodeleyesambientales.pdf>
- Speece, R. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments* . Nashville, USA: Archae Press.
- Tecnodebats, P. d. (1 de February de 2010). *Microturbina a biogas en vertedero de basuras urbanas* . Obtenido de nEWS SOLICLIMA: <https://news.soliclima.com/noticias/biomasa/microturbina-a-biogas-en-vertedero-de-basuras-urbanas>

Tecnologías de generación de energía eléctrica a partir de biogás. . (4 de September de 2019).

Obtenido de Facultad de Ingeniería - UNAM:

[www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/285/A7.pdf?sequ](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/285/A7.pdf?sequence=6)

[ence=6](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/285/A7.pdf?sequence=6)

Varnero, M. (2001). *Desarrollo de Sustratos: Compost y Bioabonos*. Santiago de Chile: Publicaciones Miscelaneas Forestales.

Varnero, M. V. (2011). *Manual de Biogas*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.

IX. ANEXOS

9.1. ANEXO 1. ENTREVISTA

Introducción:

La primera entrevista se realizó en El Progreso, Yoro al ingeniero Miguel Gaido, quien tiene años de servicio como representante a la empresa Biotec, en Honduras. Quienes se encargan de desarrollar plantas de biomasa y biogás a partir de desechos orgánicos sólidos, y aprovechamiento de insumos industriales y agrícolas, a nivel mundial. Con sede en Bélgica la empresa Biotec ha sido participe de muchos proyectos de instalación de biodigestores. Dada su experiencia profesional, y su relación con los temas de biodigestores, me dirijo a usted para solicitar su valiosa colaboración contestando las siguientes preguntas que se le harán a continuación, esto tiene como objetivo tener información directa para la investigación: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN BIODIGESTOR EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE SAN PEDRO SULA".

Usted deberá leer cuidadosamente cada pregunta y responder conforme a su conocimiento y experiencia profesional. Se le agradece cualquier sugerencia relativa a la redacción y el contenido. De antemano muchas gracias por su tiempo.

Preguntas:

1. ¿Cuál es la eficiencia de un biodigestor?
2. ¿Cuál es la mejor alternativa para el aprovechamiento del biodigestor?
3. ¿Cómo es el DQO?
4. ¿De qué consiste la biodigestión?
5. ¿Qué tipo de materia orgánica es la más apta para un biodigestor?
6. ¿Cuál es el porcentaje de materia seca en una fruta o vegetal?
7. ¿Cómo es el funcionamiento de un biodigestor?
8. ¿Los residuos del biodigestor, para que se pueden utilizar?

9.2. ANEXO 1. ENTREVISTA II

Introducción:

La segunda entrevista que se realizó fue en la planta de PALCASA específicamente en ECOPALSA, departamento encargado de biomasa en PALCASA. Al ingeniero Walter Méndez, jefe de planta de ECOPALSA. Con más de cinco años de experiencia laboral en la producción de energía a partir de la biomasa. Se le entrevistó con el fin de obtener respuestas acerca del inóculo de palma.

Usted deberá leer cuidadosamente cada pregunta y responder conforme a su conocimiento y experiencia profesional. Se le agradece cualquier sugerencia relativa a la redacción y el contenido. De antemano muchas gracias por su tiempo.

Preguntas:

1. ¿Qué es el inóculo de palma?
2. ¿En qué se puede utilizar, que uso se le puede dar después?
3. ¿De dónde puede provenir el inóculo?
4. ¿Qué hacen con el inóculo como resultado del proceso de biodigestión, se desperdicia o se reutiliza?

9.3. ANEXO 2. ENCUESTA

Usted deberá leer cuidadosamente cada pregunta y responder conforme a su conocimiento y experiencia profesional. Se le agradece cualquier sugerencia relativa a la redacción y el contenido. De antemano muchas gracias por su tiempo.

Preguntas:

1. ¿Cuántas veces vienen a recoger la basura a la central de abastos diariamente?
2. ¿Qué tipo de basura se encuentra en los contenedores?
3. ¿Hay más basura orgánica (vegetales, frutas) o inorgánica (plásticos, madera, papel)?
4. ¿Los dos contenedores se llenan totalmente o la mitad?
5. ¿Cuántas toneladas de basura se registran diariamente?
6. ¿Cuántos contenedores se llenan diariamente?

9.4. ANEXO 3. PROCEDIMIENTO PARA MATERIA SECA

FACILITADO POR EL INGENIERO MIGUEL GAIDO, REPRESENTANTE DE BIOTEC

	Para Medición	Código: JPR5 – C10
Abril 22, 2013	Contenido Solidos Totales	Página 101 de 127

1. PROCEDIMIENTO

- Recepción de muestra: reciba la muestra y etiquétela inmediatamente de la siguiente manera.
 - Identidad de muestra medición
 - Fecha
 - Tipo de muestra
 - Lugar de recolección

- Nombre del operador de laboratorio
- Pese la lata que va a usar y anótela (anotada como A)
- Antes de medir el volumen de la muestra para el análisis, agite vigorosamente la muestra para asegurar la mezcla completa.
- Mida 100 ml de muestra con el cilindro volumétrico graduado y anótelo (anotado como V).
- Pese el volumen vertido previamente en la lata mencionada y anótelo (anotado como B).
- Arranque el horno y espere hasta que alcance los 105°C.
- Introducir la muestra (lata + muestra) en el horno.
- Déjelo por 24 horas y escriba la hora de inicio
- Después de 24 horas, apague el horno y ábralo.
- Retire la muestra con cuidado utilizando pinzas de laboratorio.
- Coloque la muestra dentro del desecador de vidrio
- Enfríe la muestra ($\approx 30^\circ\text{C}$) dentro del desecador.
- Pese la muestra horneada y anótela (anotada como C).
- Limpie y seque todo equipo para luego ser medidos.

2. CALCULO MATERIA SECO

$$\text{Densidad} \left[\frac{g}{mL} \right] = \frac{B - A}{V} \qquad \% MS = \frac{(C - A)}{(B - A)} * 100$$

Donde:

A: Peso de lata

B: Peso de la muestra + lata

C: Peso de la muestra horneada + lata

(M, Gaido, Representante de Biotec en Honduras)

TEST DATE AND CONDITIONS	
Date	18.7.12
Atmospheric Pressure	998 mB
Ambient Temp	25.2 °C
Environics Serial No.	2633

GAS DATA LTD
 Pegasus House
 Seven Stars Estate
 Whaler Rd.
 Coventry
 CV3 4LB
 Tel: 024 76 30311 Fax: 024 76 307711



GFM400 SERIES OUTWARD INSPECTION & QUALITY CHECK SHEET

INSTRUMENT DETAILS			
SO Number	Instrument Type	Instrument Serial Number	Job Number(s)
304376	GFM416	10961	9619 — —

Calibration Technician JSD **DATE** 17-7-2012

Inspection Technician [Signature] **DATE** 18.7.12

INSTRUMENT CHECKS		Pass (P), Fail (F) or not applicable (NA)	INSTRUMENT PACKING LIST	Tick if included
Function Tests	Keyboard Test	P	Instrument	✓
	Backlight Test	P	Leather Case	✓
	Clock Set / Running	P	AC Battery Charger (UK)	X
	Comms Test	P	AC Battery Charger (EU/RO)	X
	Pump Flow Test	P	AC Battery Charger (US)	✓
	Overall Leak Test	P	Gas Sample Pipe	✓
	Battery Charge Test	P	Operation Manual (hardcopy)	X
	Service Due	17.7.13	Carry Case	✓
Channel Tests	Verify CH4/LEL	P	Spare Pot	X
	Verify CO2	P	Allen Key	X
	Verify O2	P	Flow Sample Pipe	X
	Verify first optional gas	P	Pressure Sample Pipe	X
	Verify second optional gas	P	Temperature Probe	X
	Verify third optional gas	P	Vane Anemometer	X
	Verify fourth optional gas	P	USB Cable	X
	Verify atmospheric pressure	P	USB Memory stick	✓
	Verify static pressure	P	SiteMan Software	Ver 4-10
	Verify differential pressure	P	Internal Filter Pack	Qty X
	Verify flow	P	External Filter Pack	Qty X
	Verify temperature probe input	P	Field Guide	X
Verify vane anemometer input	P	Extra Items		
H2S Range	H2S Range from SO (A)	P		
H2S Range	H2S Range from cal cart (B)	P		
Over-range	Over-range value correct	P		
Label Checks	Calibration label fitted	P		
	Warranty label fitted	P		
Database Checks	Jobcard(s) completed and signed	P		
	Jobcard(s) booked off database	P		
	Calibration certificate completed	P		
	Complete & print QI record	P		
			Comments:	

TEST DATE AND CONDITIONS

Date	17/07/2012
Atmospheric Pressure	1001mB
Ambient Temp	24.2°C
EnviroNics Serial No.	2518

GAS DATA LTD

Pegasus House
Seven Stars Estate
Wheler Rd
Coventry
CV3 4LB
Tel 02476303311 Fax 02476307711

**GFM416-1 FINAL INSPECTION & CALIBRATION CHECK CERTIFICATE****INSTRUMENT DETAILS**

Serial No	Customer
10941	Energia Ecologica de Palcausa (EECOPALSA)

INSTRUMENT CHECKS

Keyboard	✓	Pump Flow	>500cc/min
Display Contrast	✓	Pump Flow @ -200mB	300cc/min
Clock Set / Running	✓	S/W Version	G416.0024/0009
Labels Fitted	✓	Recalibration Date	17/07/2013

GAS CHECKS

Calibration Gas		Instrument Gas Channels Read					
Gas Type	Applied Conc.	CH4 (%)	tol. (% vol.)	CO2 (%)	tol. (% vol.)	O2 (%)	tol. (% vol.)
N2	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.1
CO2, balance CH4	25%	74.5	+/-1.0	24.8	+/-1.0	0.0	+0.1
	35%	65.1	+/-1.0	35.2	+/-1.0	0.0	+0.1
	45%	55.6	+/-1.0	44.7	+/-1.0	0.0	+0.1
AIR (20.9% O2, 400ppm CO2)	100%	0.0	0.0	0.0	+0.1	20.8	+/-0.5

PRESSURE CHECKS

Calibration Pressure		Instrument Pressure Channels Read			
Pressure @	Applied Pressure	Atmospheric [Ap] (mB)	tol. (mB)	Static [Sp] (mB)	tol. (mB)
All ports	current atmospheric	1001	+/-2.0	0	0.0
Ap port (internal)	+800mB(a)	804	+/-5.0	0	0.0
	+1200mB(a)	1197	+/-5.0	0	0.0
Gas IN port	+400mB(g)	n/r	n/a	399	+/-2.0
	-400mB(g)	n/r	n/a	-401	+/-2.0

TEST DATE AND CONDITIONS	
Date	17/07/2012
Atmospheric Pressure	1001mB
Ambient Temp	24.2°C
Enviroics Serial No.	2518

GAS DATA LTD

Pegasus House
Seven Stars Estate
Wheler Rd
Coventry
CV3 4LB
Tel 02476203311 Fax 02476307711



GFM416-1 FINAL INSPECTION & CALIBRATION CHECK CERTIFICATE

OPTIONAL GAS CHECKS							
Calibration Gas		Instrument Gas Channels Read					
Gas Type	Applied Conc.	Label Range	H2S 5000ppm				tol. (% vol.)
N2	100%		0				0.0
H2S	100ppm		100				+/- 5.0
H2S	1500ppm		1505				+/- 5.0
							+/- 5.0
							+/- 5.0
							+/- 5.0

OPTIONAL TEMPERATURE CHECK		
Calibration Temperature	Instrument Temperature Channel Read	
Applied Equivalent Temperature	Temperature [Temp] (°C)	tol. (°C)
-10.0 °C	-10.0	+/- 2.0
0.0 °C	0.0	+/- 1.0
30.0 °C	30.0	+/- 1.0
60.0 °C	60.0	+/- 1.0
100.0 °C	100.0	+/- 1.0

9.6. ANEXO 5. FLUJO DE CAJA

Año	Año 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Generación anual kWh		42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27
Ingresos											
Tarifa energía eléctrica		\$ 0.173	\$ 0.176	\$ 0.178	\$ 0.181	\$ 0.184	\$ 0.186	\$ 0.189	\$ 0.192	\$ 0.195	\$ 0.198
Venta por energía generada		\$ 7,404.32	\$ 7,515.38	\$ 7,628.11	\$ 7,742.53	\$ 7,858.67	\$ 7,976.55	\$ 8,096.20	\$ 8,217.64	\$ 8,340.91	\$ 8,466.02
Total		\$ 7,404.32	\$ 7,515.38	\$ 7,628.11	\$ 7,742.53	\$ 7,858.67	\$ 7,976.55	\$ 8,096.20	\$ 8,217.64	\$ 8,340.91	\$ 8,466.02
Gastos Operativos											
Operación y Mantenimiento (\$)		\$ 1,046.20	\$ 1,061.89	\$ 1,077.82	\$ 1,093.99	\$ 1,110.40	\$ 1,127.05	\$ 1,143.96	\$ 1,161.12	\$ 1,178.54	\$ 1,196.21
Flete		\$ 1,000.00	\$ 1,015.00	\$ 1,030.23	\$ 1,045.68	\$ 1,061.36	\$ 1,077.28	\$ 1,093.44	\$ 1,109.84	\$ 1,126.49	\$ 1,143.39
Seguros(\$)		\$ 109.48	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total gastos operativos		\$ 2,155.68	\$ 2,076.89	\$ 2,108.05	\$ 2,139.67	\$ 2,171.76	\$ 2,204.34	\$ 2,237.40	\$ 2,270.96	\$ 2,305.03	\$ 2,339.60
Análisis sin financiamiento											
Beneficio antes de interés e impuestos		\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42
Intereses		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Beneficio antes de impuesto		\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42
Impuesto sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Beneficio después de impuesto		5248.635734	5438.489429	5520.066771	5602.867772	5686.910789	5772.214451	5858.797667	5946.679632	6035.879827	6126.418024
Flujo de efectivo	\$ -10,948.19	\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42
Flujo de efectivo acumulado	\$ -10,948.19	\$ -5,699.56	\$ -261.07	\$ 5,259.00	\$ 10,861.87	\$ 16,548.78	\$ 22,320.99	\$ 28,179.79	\$ 34,126.47	\$ 40,162.35	\$ 46,288.77
Flujo de efectivo para VAN	\$ -10,948.19	\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42
Fracción de periodo de retorno		1	1	0.047294326	0	0	0	0	0	0	0
Costo de capital distribuido (para calculo de LCOE) [\$]		\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41
Costo nivelado del kWh (LCOE) [\$/Wh]		\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07
Costo para LCOE ponderado		\$ 2,703.09	\$ 2,624.30	\$ 2,655.46	\$ 2,687.08	\$ 2,719.17	\$ 2,751.75	\$ 2,784.81	\$ 2,818.37	\$ 2,852.44	\$ 2,887.01

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27	42,777.27
\$ 0.201	\$ 0.204	\$ 0.207	\$ 0.210	\$ 0.213	\$ 0.216	\$ 0.220	\$ 0.223	\$ 0.226	\$ 0.230
\$ 8,593.01	\$ 8,721.91	\$ 8,852.74	\$ 8,985.53	\$ 9,120.31	\$ 9,257.12	\$ 9,395.97	\$ 9,536.91	\$ 9,679.97	\$ 9,825.16
\$ 8,593.01	\$ 8,721.91	\$ 8,852.74	\$ 8,985.53	\$ 9,120.31	\$ 9,257.12	\$ 9,395.97	\$ 9,536.91	\$ 9,679.97	\$ 9,825.16
\$ 1,214.16	\$ 1,232.37	\$ 1,250.86	\$ 1,269.62	\$ 1,288.66	\$ 1,307.99	\$ 1,327.61	\$ 1,347.53	\$ 1,367.74	\$ 1,388.26
\$ 1,160.54	\$ 1,177.95	\$ 1,195.62	\$ 1,213.55	\$ 1,231.76	\$ 1,250.23	\$ 1,268.99	\$ 1,288.02	\$ 1,307.34	\$ 1,326.95
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 2,374.70	\$ 2,410.32	\$ 2,446.47	\$ 2,483.17	\$ 2,520.42	\$ 2,558.22	\$ 2,596.60	\$ 2,635.55	\$ 2,675.08	\$ 2,715.21
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6218.314295	6311.589009	6406.262844	6502.356787	6599.892139	6698.890521	6799.373879	6901.364487	7004.884954	7109.958228
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ 52,507.08	\$ 58,818.67	\$ 65,224.93	\$ 71,727.29	\$ 78,327.18	\$ 85,026.07	\$ 91,825.45	\$ 98,726.81	\$ 105,731.70	\$ 112,841.65
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41	\$ 547.41
\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.07	\$ 0.08	\$ 0.08
\$ 2,922.11	\$ 2,957.73	\$ 2,993.88	\$ 3,030.58	\$ 3,067.83	\$ 3,105.63	\$ 3,144.01	\$ 3,182.96	\$ 3,222.49	\$ 3,262.62

Análisis con financiamiento												
Beneficio antes de intereses e impuestos		\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42	
Deuda del Proyecto												
Balance \$		\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55
Pago total (interés +amortización)\$		\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03	\$ 1,627.03
Beneficio antes de impuestos		\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42	
Beneficio después de impuestos \$		\$ 5,248.64	\$ 5,438.49	\$ 5,520.07	\$ 5,602.87	\$ 5,686.91	\$ 5,772.21	\$ 5,858.80	\$ 5,946.68	\$ 6,035.88	\$ 6,126.42	
Flujo de efectivo \$	\$ -2,189.64	\$ 3,621.60	\$ 3,811.46	\$ 3,893.03	\$ 3,975.83	\$ 4,059.88	\$ 4,145.18	\$ 4,231.76	\$ 4,319.65	\$ 4,408.85	\$ 4,499.39	
Flujo de efectivo acumulado \$	\$ -2,189.64	\$ 1,431.96	\$ 5,243.42	\$ 9,136.45	\$ 13,112.29	\$ 17,172.17	\$ 21,317.35	\$ 25,549.11	\$ 29,868.76	\$ 34,277.61	\$ 38,776.99	
Flujo de efectivo para VAN \$	\$ -2,189.64	3621.602917	3811.456612	3893.033953	3975.834955	4059.877972	4145.181633	4231.76485	4319.646815	4408.84701	4499.385207	
Fracción de periodo de retorno de inversión (años)		0.604604826	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costo de capital distribuido LCOE (Con financiamiento)		\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48
Costo nivelado del kWh		\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06
Parámetro del LCOE ponderado		\$ 2,265.16	\$ 2,186.37	\$ 2,217.53	\$ 2,249.15	\$ 2,281.24	\$ 2,313.82	\$ 2,346.89	\$ 2,380.45	\$ 2,414.51	\$ 2,449.09	

\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55	\$ 8,758.55
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ 6,218.31	\$ 6,311.59	\$ 6,406.26	\$ 6,502.36	\$ 6,599.89	\$ 6,698.89	\$ 6,799.37	\$ 6,901.36	\$ 7,004.88	\$ 7,109.96
\$ 44,995.31	\$ 51,306.90	\$ 57,713.16	\$ 64,215.52	\$ 70,815.41	\$ 77,514.30	\$ 84,313.67	\$ 91,215.04	\$ 98,219.92	\$ 105,329.88
6218.314295	6311.589009	6406.262844	6502.356787	6599.892139	6698.890521	6799.373879	6901.364487	7004.884954	7109.958228
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48	\$ 109.48
\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.06	\$ 0.07	\$ 0.07
\$ 2,484.18	\$ 2,519.80	\$ 2,555.96	\$ 2,592.65	\$ 2,629.90	\$ 2,667.71	\$ 2,706.08	\$ 2,745.03	\$ 2,784.56	\$ 2,824.69

REQUISITOS PROYECTOS CATEGORÍA 2 & 3

1. Solicitud presentada por el proponente en papel blanco tamaño oficio.
2. Diagnóstico Ambiental Cualitativo, elaborado por un prestador de servicios ambientales debidamente registrado ante la DECA/ SERNA.
3. Carta Poder, Instrumentos Públicos contentivos de poder general o especial.
4. Documento de constitución de sociedad, de comerciante individual o personería jurídica.
5. Título de propiedad o arrendamiento del lugar donde se va a desarrollar el proyecto, debidamente timbrado y registrado.
6. Declaración Jurada del proponente, mediante la cual asegure que toda la información presentada es verdadera.
7. Constancia extendida por la Unidad Ambiental Municipal (UMA) o por el Alcalde del lugar de ubicación del proyecto en la que haga constar el estado del proyecto (si ha iniciado operaciones, etapa de ejecución actual.)
8. Las fotocopias de escritura o cualquier otro tipo de documentos deberán presentarse autenticados.

Si los proyectos se encuentran ubicados en municipalidades que tienen firmado un convenio de delegación con la SERNA, los proponentes deberán abocarse a ellas para iniciar el proceso de autorización ambiental y deberán cumplir con los demás requisitos exigidos por estas.

Actualmente tenemos convenios firmados con las Alcaldías de Puerto Cortes, San Pedro Sula y el Distrito Central.

**FORMATO PARA LAS SOLICITUDES DE AUTORIZACIÓN DE LOS
PROYECTOS CATEGORÍA 2 y 3**

**SE SOLICITA AUTORIZACIÓN AMBIENTAL. REGISTRO RESPECTIVO. SE
ACOMPAÑAN DOCUMENTOS. PODER**

**SEÑOR SECRETARIO DE ESTADO EN LOS DESPACHOS DE RECURSOS
NATURALES Y AMBIENTE
SERNA**

Yo, _____ generales actuando en mi condición de Apoderado Legal de la
Empresa _____, carácter que acredito con _____ que acompaño, con todo
respeto comparezco ante usted solicitando se me extienda la respectiva autorización
ambiental para el desarrollo del Proyecto _____ como requisito legal para la
realización de las actividades del mismo.

FUNDAMENTOS DE DERECHO

Sirven de fundamentos legales los artículos 15 de la Ley de Simplificación
Administrativa _____.

PETICIÓN

Por lo anteriormente expuesto al Señor Secretario de Estado PIDO: Admitir la presente
solicitud con los documentos que acompaño, darle el trámite respectivo y en definitiva
resolver de conformidad otorgándome la autorización ambiental solicitada.

Tegucigalpa, Municipio del Distrito Central a los _____ días del mes de ____ del
año _____.