



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL
MERCADO JACALEAPA DE TEGUCIGALPA**

SUSTENTADO POR:

RENÉ ARMANDO AMADOR CÁRCAMO

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

TGUCIGALPA, M.D.C., HONDURAS, C.A.

ABRIL, 2012

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO

SECRETARIO GENERAL

JOSÉ LESTER LÓPEZ PINEL

VICERRECTOR ACADÉMICO

MARLON BREVÉ REYES

VICERRECTORA DE OPERACIONES

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

DECANO FACULTAD DE POSTGRADO

JEFFREY LANSDALE

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL
MERCADO JACALEAPA DE TEGUCIGALPA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

ASESOR METODOLÓGICO

ANA MARGARITA MAIER

ASESOR TEMÁTICO

MOISÉS STARKMAN

MIEMBROS DE LA TERNA:

JORGE CENTENO

JOSUE ABEL RAMOS

JACOBO SANTOS

DEDICATORIA

A mi esposa Vilma María y mis hijos René Armando, José Mario y Sebastián David por apoyarme en el logro de esta meta profesional tan anhelada.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) y su personal docente por contribuir acertadamente en mi formación profesional.

Al Ingeniero Moisés Starkman y la Licenciada Ana Margarita Maier por su valiosa asesoría y espíritu de colaboración.

Al Ing. Alexander Cabrera por su contribución al desarrollo de este documento.

A la Sra. Bessy Quiróz por su apoyo en el trabajo de campo.

A los locatarios propietarios de restaurantes y puestos de verduras del Mercado Jacaleapa por su valiosa colaboración en la realización de esta investigación.



FACULTAD DE POSTGRADO

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA DE TEGUCIGALPA RESUMEN

Autor: René Armando Amador Cárcamo

Con el propósito de contribuir al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en los mercados municipales de Tegucigalpa, se desarrolló un proyecto de investigación en el mercado Jacaleapa de la Colonia Kennedy para determinar la factibilidad técnica y económica de implementación de un biodigestor para producir biogás como fuente alterna de energía. Los resultados obtenidos muestran que el volumen anual proyectado de residuos orgánicos generados asciende a 66,524.64 Kg, de los cuales el 78.58% corresponden a vegetales y frutas enteras, hojas y cáscaras de vegetales y el 21.42% a desechos de comida. La cantidad de materia volátil que se puede producir a partir del volumen actual de residuos en un biodigestor de 14.16 m³, un grado de dilución de 10% y un tiempo de retención de 30 días, se estima en un promedio anual de biogás de 5,562.60 m³ equivalentes a 122,377,200 BTU que pueden suplir el 94.59% de la demanda actual de LPG de los restaurantes del mercado (129,372,000), lo que representa un ingreso bruto anual de L. 55,416.52 y L. 98,753.82 para el año uno y diez, respectivamente. Aún cuando la evaluación financiera refleja un VAN negativo (L. -289,253.77) y que el proyecto no es rentable, las externalidades no cuantificadas del mismo contribuyen a disminuir la contaminación ambiental vía reducción de gases de efecto invernadero y coadyuva a atenuar los costos de disposición de los residuos generados. Un análisis de sensibilidad efectuado refleja que disminuyendo el 50% de los costos de operación vía subsidio como incentivo a la producción de energía limpia, vuelve el proyecto rentable, pues refleja un VAN y TIR de L. 34,816.78 y 21%, respectivamente.

Palabras clave: residuos orgánicos, biodigestores, biogás, bioenergía

ABSTRACT

PRODUCTION OF BIOGAS FROM SOLID ORGANIC WASTE GENERATED IN THE JACALEAPA MARKET OF TEGUCIGALPA

In order to contribute to exploitation of the organic wastes generated in the municipal markets of Tegucigalpa, a research project was conducted at the Jacaleapa market in Colonia Kennedy to determine the technical and economic feasibility for implementing the use of a continuous flow biodigester oriented towards the production of biogas as an alternative energy source. The results of the investigation show that the projected annual volume of organic solid waste generated in the Jacaleapa market ascends to 66.524,64 kg, from which 78.58% is composed primarily of whole vegetables and fruits and 21.42% more from food wastes from restaurants. The amount of volatile matter that can be produced from the present waste volume and considering the implementation of a biodigester with a total volume of 14.16 m³, a 10% dilution degree and a retention time of 30 days, an annual production of biogas of 5.562,60 ms³ can be estimated. The annual projection of BTU which can be produced from the generated biogas (122,377,200) can supply 94.59% of the current demand of LPG for the market restaurants (129,372,000) which represents an annual gross entrance of L. 55.416,52 for the first year and projected revenue of L. 98.753,82 during the tenth year. Even when the financial study reflects a negative NPV (L. -289,253.77) and the project appear to be non profitable; its unquantified externalities contribute to reduce the environmental pollution by reducing the greenhouse effect gases and also helps mitigate the solid waste disposal costs generated in the market. A sensitivity analysis reflects that reducing 50% of the operating cost via any subsidies such an incentive for clean energy production makes the project profitable, since a NPV and IRR of L. 34, 816.78 and 21% is attained respectively.

Key words: organic waste, biodigesters, biogas, bioenergy

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	3
1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	6

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 FUENTES DE ENERGÍA VERSUS CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	7
2.2 BIOENERGÍA: UNA FUENTE ALTERNA A LOS COMBUSTIBLES DE PETRÓLEO	8
2.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	10
2.4 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS (RSO).....	13
2.5 EL BIOGÁS	16
2.5.1 HISTORIA DEL BIOGÁS	17
2.5.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL BIOGÁS	21
2.5.3 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS.....	23
2.6 DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS	24
2.6.1 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DE GAS METANO	25
2.7 LOS BIODIGESTORES.....	29
2.7.1 EL BIODIGESTOR: CONCEPTUALIZACIÓN	29
2.7.2 TIPOS DE BIODIGESTORES.....	31
2.7.3 VOLUMEN Y COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS DE UN BIODIGESTOR.....	35

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACION

3.1 ENFOQUE DEL ESTUDIO.....	38
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38

3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS LOCALES GENERADORES DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA	38
3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RSO DEL MERCADO JACALEAPA.....	39
3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA	40
3.2.4 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE BIOGÁS Y EQUIVALENCIA ENERGÉTICA A PARTIR DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA	41
3.2.5 INFRAESTRUCTURA Y COSTO DE UN BIODIGESTOR EN EL MERCADO JACALEAPA	43
3.2.6 ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO	43
3.4 FUENTES DE INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.5 EQUIPO Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	44
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN	
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	45
4.2 LOCALES GENERADORES DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA	48
4.3 CANTIDAD DE RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA.....	49
4.4 COMPOSICIÓN DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACAEAPA.....	49
4.5 VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO A PARTIR DE LOS RSO DEL MERCADO JACALEAPA.....	51
4.5.1 DISPONIBILIDAD DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA.....	51
4.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS RSO DEL MERCADO JACALEAPA	51
4.6 VALOR ENERGÉTICO DEL BIOGÁS E INGRESOS BRUTOS POR AHORRO DE ENERGÍA	55
 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 CONCLUSIONES.....	59
5.2 RECOMENDACIONES.....	59
 CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de estudio en el proyecto de investigación	6
Tabla 2. Relación carbono: nitrógeno de diversos sustratos orgánicos.....	14
Tabla 3. Valores de generación de biogás de algunos residuos orgánicos	16
Tabla 4. Científicos que contribuyeron al descubrimiento y desarrollo del conocimiento del biogás	18
Tabla 5. Acontecimientos importantes en la historia del desarrollo de la tecnología del biogás.....	19
Tabla 6. Composición típica del biogás	21
Tabla 7. Propiedades físicas del biogás	22
Tabla 8. Valor energético del biogás en comparación con otras fuentes	22
Tabla 9. Fórmulas para el cálculo de la producción de biogás	42
Tabla 10 Distribución de los locales comerciales por rubro en el Mercado Jacaleapa ...	45
Tabla 11. Tipo de residuos sólidos generados según los locatarios del Mercado Jacaleapa	48
Tabla 12. Cantidad diaria y proyección anual de RSO generados en el Mercado Jacaleapa	49
Tabla 13. Composición detallada de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa	50
Tabla 14. Composición según categoría de RSO del Mercado Jacaleapa	50
Tabla 15. Resumen de resultados del análisis de laboratorio de una muestra de RSO del Mercado Jacaleapa	52
Tabla 16. Estimación del volumen del biodigestor para los RSO generados en el Mercado Jacaleapa	53
Tabla 17. Producción de biogás a partir de RSO generados en el Mercado Jacaleapa.	54
Tabla 18. Proyección de biogás y energía a partir de RSO generados en el Mercado Jacaleapa	55
Tabla 19. Equivalencia en BTU del LPG consumido y el biogás producido en el Mercado Jacaleapa	56
Tabla 20. Ingreso por ahorro bruto en el consumo de LPG en el Mercado Jacaleapa...	57
Tabla 21. Recursos disponibles y necesarios para el proyecto de inversión.....	64
Tabla 22. Cantidad y calificaciones requeridas para la mano de obra directa del proyecto.....	71

Tabla 23. Determinación de las dimensiones de un biodigestor de polietileno de 14.16 m ³	74
Tabla 24. Materiales para la construcción de un biodigestor de polietileno de 14,16 m ³	78
Tabla 25. Equipo básico para la operación del biodigestor y aprovechamiento del biogás.	79
Tabla 26. Obras de infraestructura para la instalación del biodigestor	80
Tabla 27. Mano de obra especializada para la construcción del biodigestor y sistema de conducción del biogás	80
Tabla 28. Inversión total para la implementación de un biodigestor de 14.16 m ³	81
Tabla 29. Costos de operación y mantenimiento del biodigestor y sistema de conducción del biogás	81
Tabla 30. Depreciación en línea recta de las obras físicas y biodigestor	82
Tabla 31. Depreciación en línea recta de estufas de biogás y equipo menor	82
Tabla 32. Flujo de fondo financiero (2013-2023) para el proyecto de implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa	86
Tabla 33. Flujo de fondo financiero (2013-2023). Escenario A: Disminución del 50% en el monto de los costos de operación	87
Tabla 34. Flujo de fondo financiero (2013-2023). Escenario B: Aumento del 100% en el volumen de residuos	88
Tabla 35. Flujo de fondo económico (2013-2023). Escenario A: Disminución del 50% en el monto de los costos de operación	90
Tabla 36. Cálculo del valor agregado del proyecto.....	92
Tabla 37. Matriz de impactos ambientales del proyecto.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición por volumen de los residuos sólidos urbanos compactados de Tegucigalpa	11
Figura 2. Etapas en la producción de gas metano a partir de residuos orgánicos	28
Figura 3. Esquema de un biodigestor de cúpula fija o tipo Chino	33
Figura 4. Esquema de un biodigestor de cúpula móvil	34
Figura 5. Esquema de un biodigestor de estructura flexible	35
Figura 6. Secuencia gráfica del pesaje y caracterización de RSO	39
Figura 7. Secuencia gráfica de la técnica de cuarteo para la toma de una muestra de RSO	41
Figura 8. Vista exterior frontal y posterior del Mercado Jacaleapa	46
Figura 9. Vista Interior de los locales del Mercado Jacaleapa	47
Figura 10. Flujo de procesos para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa	72
Figura 11. Plano simplificado del Mercado Jacaleapa y ubicación del biodigestor	73
Figura 12. Dimensiones de la fosa para ubicar el biodigestor tubular de polietileno	75
Figura 13. Esquema de excavación de terminales de entrada y salida de la fosa	75
Figura 14. Detalle de la instalación de empaque para la salida del biogás del biodigestor	76
Figura 15. Detalle de la instalación de la tubería de salida de biogás del biodigestor	76
Figura 16. Vista lateral del llenado de aire de la bolsa del biodigestor	77
Figura 17. Esquema de llenado de líquidos del biodigestor	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formulario encuesta de opinión aplicada a los locatarios del Mercado Jacaleapa	102
Anexo 2. Formulario de registro de generación de RSO en el Mercado Jacaleapa.....	103
Anexo 3. Formulario de registro de composición de RSO en el Mercado Jacaleapa ..	104
Anexo 4. Resultados de encuesta de opinión pregunta 1. ¿Qué tipo de residuo se generan en mayor cantidad en su local?	105
Anexo 5. Resultados de encuesta de opinión pregunta 2. ¿Qué día de la semana se generan mayor cantidad de residuos en su local?	107
Anexo 6. Resultados de encuesta de opinión pregunta 3. ¿Con qué frecuencia elimina los residuos de su local?	109
Anexo 7. Resultados de encuesta de opinión pregunta 4. ¿Paga por eliminar los residuos de su local? Si es afirmativo, ¿Cuánto?	111
Anexo 8. Resultados de encuesta de opinión pregunta 5. ¿Estaría dispuesto a separar los residuos orgánicos que se generan en su local?	113
Anexo 9. Resultados de encuesta de opinión pregunta 6. ¿Estaría de acuerdo en que se instale un biodigestor para producir energía en el Mercado Jacaleapa?	115
Anexo 10. Resultados de encuesta de opinión pregunta 7. ¿Con qué tipo de estufa cocina en su local?	117
Anexo 11. Resultados de encuesta de opinión pregunta 8. ¿Cuántas horas al día cocina alimentos en su local?	117
Anexo 12. Reporte de composición absoluta de los RSO en el Mercado Jacaleapa ..	118
Anexo 13. Reporte de composición absoluta de los RSO en el Mercado Jacaleapa ..	118
Anexo 14. Informe de resultados de análisis de muestra de RSO del mercado Jacaleapa	119

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar la factibilidad técnica y económica de la implementación de un biodigestor de flujo continuo para contribuir al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en los mercados de Tegucigalpa para producir biogás como fuente alterna de energía calorífica para la cocción de alimentos y para lo cual se seleccionó el Mercado Jacaleapa de la Colonia Kennedy.

El estudio está estructurado en seis secciones que corresponden al planteamiento de la investigación, la cual surge de la necesidad de aprovechar los residuos orgánicos de los mercados municipales para obtener fuentes de energía limpia y amigable con el ambiente, la segunda sección, muestra el desarrollo del marco teórico, en el cual se retoma la teoría de utilización de desechos orgánicos para producir energía en forma de biogás originalmente desarrollada por Humphrey Dhabhi en 1808 y actualmente aplicada a la utilización de la tecnología de biodigestores anaeróbicos. La tercera sección corresponde a la metodología empleada la que consistió en un enfoque mixto con recolección de datos cualitativos y cuantitativos.

En la cuarta sección se presentan los resultados de la investigación relativa a la cantidad de residuos generados en el Mercado Jacaleapa y consecuentemente la cantidad de biogás e ingresos por ahorro obtenidos a partir de los mismos. En la sección cinco, se resumen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la investigación. Finalmente, con el propósito de determinar la factibilidad de implementación de un biodigestor para la producción de biogás como reemplazo del LPG que actualmente usan los restaurantes del Mercado Jacaleapa, en la sección seis se presenta un análisis de pre inversión siguiendo la metodología de la cadena analítica que parte con la identificación del proyecto, estudio de mercado, estudio técnico y concluye con la evaluación financiera, socioeconómica y ambiental.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Ante la problemática de la disponibilidad y costo de la energía generada a partir de los derivados del petróleo, existe una necesidad imperante de búsqueda de fuentes alternas de naturaleza renovable y de mínimo impacto ambiental que satisfagan la creciente demanda. En tal sentido la generación de energía renovable, entre ellas la hídrica, eólica y solar han tomado mucho auge en los últimos años. Por otro lado, y tal como lo apunta Biotec (2010), desde el año 2005, el incremento de los precios del petróleo y la ratificación del Protocolo de Kyoto, la mayor parte de las actividades se concentran en la captación y uso del biogás obtenido a partir del tratamiento de efluentes agro-industriales, en particular, las extractoras de aceite de palma, las destilerías de alcohol (bio-etanol) y los estiércoles de cerdo y ganado vacuno.

El valor energético de la biomasa orgánica residual puede ser sujeta de la fermentación anaeróbica controlada en biodigestores para la producción de biogás, producto que contiene entre un 50 a 75% de gas metano (CH_4) y por tanto es un combustible que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica, mecánica y calorífica. Por ejemplo un biodigestor de dos metros cúbicos de capacidad puede abastecer de gas a una vivienda y satisfacer las necesidades de cocina y calefacción permitiéndole ahorrar dinero en concepto de energía (Trujillo, 2007)

Todos los desechos orgánicos pueden producir biogás, aunque sea en mínimas proporciones. La producción de biogás de un determinado desecho orgánico depende de la composición físico - química y especialmente de la cantidad de carbono degradable que contenga. Otros factores que influyen en la producción son las propiedades que definen a la biomasa, con la que se alimenta el biodigestor (ICAITI, 1983 citado por Salamanca, 2009). Según Rivas et al (2009), el rendimiento de un biodigestor está ligado principalmente a la estructura de la comunidad microbiana presente en el mismo. Además, la producción de metano tiene un límite que depende también de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor.

Cada día es más común el uso de biodigestores para el tratamiento de excretas animales, la producción de biogás, la purificación de aguas residuales y la elaboración de bio-fertilizantes y en tal sentido existe una gran diversidad de información relacionada con el aprovechamiento de residuos orgánicos, especialmente estiércol porcino y vacuno, en zonas rurales y para lo cual existen diferentes tipos y tamaños de biodigestores que se pueden elaborar dependiendo del tipo y cantidad de residuos orgánicos que se disponga y de las necesidades energéticas.

El biogás y el biodigestor constituyen una alternativa que está siendo bien recibida para cocinar en el medio rural doméstico y está siendo adoptada gradualmente en Honduras. (Filomeno, Bron, Sosa, Nes, 2010). No obstante lo anterior, no existe información específica sobre la implementación de biodigestores en zonas urbanas que nos permita aprovechar la alta cantidad de residuos orgánicos que se generan en las ciudades altamente pobladas y en donde alrededor del 45-65% de los residuos sólidos generados, representan una fracción orgánica que puede ser aprovechada para la generación de biogás como fuente de energía.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Honduras al igual que muchos países de la región enfrenta serios problemas para manejar los desechos sólidos orgánicos pues estos son dispuestos en botaderos municipales lo que representa un problema ambiental pues su descomposición genera producción de gases nocivos como el metano, uno de los principales causantes del efecto invernadero y contaminación de fuentes subterráneas de agua. Una forma de aprovechamiento de los residuos orgánicos es la fermentación anaeróbica de los mismos en biodigestores para la producción de biogás como fuente de energía alterna y amigable con el ambiente y que en el sector urbano puede ser utilizado como fuente calorífica en estufas de gas o como fuente energética en la producción de electricidad.

Los mercados de la ciudad de Tegucigalpa generan un alto porcentaje de residuos sólidos orgánicos cuyo valor energético no está siendo aprovechado y para lo cual se pretende realizar un proyecto de investigación en el Mercado Jacaleapa de la Colonia Kennedy para determinar la factibilidad técnica y económica de utilización de los mismos a través de la instalación de un biodigestor de flujo continuo para la producción de gas metano como fuente de energía alterna al gas LPG que actualmente usan los locatarios propietarios de restaurantes para la cocción de alimentos.

1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto valor energético de los residuos orgánicos generados en los mercados de Tegucigalpa es desaprovechada para la producción de biogás como fuente alterna de energía y para lo cual se plantea el presente proyecto piloto de investigación a desarrollarse en el Mercado Jacaleapa de la Colonia Kennedy fundamentado en las siguientes preguntas de investigación:

- **Central**

¿Es posible aprovechar los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa para la producción de biogás a través de biodigestores de flujo continuo?

- **Secundarias**

¿Qué tipo y volumen de residuos sólidos orgánicos se generan diariamente en el Mercado Jacaleapa?

¿Qué volumen de biogás se puede producir diariamente a partir de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa?

¿Cuál es el ingreso bruto por ahorro que se puede conseguir al reemplazar el LPG por biogás para la cocción de alimentos en los restaurantes del Mercado Jacaleapa?

¿Cuál es la inversión necesaria para implementar un biodigestor en el Mercado Jacaleapa para producir biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el mismo?

¿Cuál es la rentabilidad de un proyecto de inversión de implementación de un biodigestor en el Mercado Jacaleapa para la producción de biogás?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa a través de una propuesta de implementación de un bio-digestor de flujo continuo para producir biogás como fuente alterna de energía.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar y caracterizar el flujo de los residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Jacaleapa de Tegucigalpa.
- Estimar el volumen de biogás que se puede producir a partir de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa.
- Cuantificar el ahorro económico bruto al reemplazar el LPG por el biogás para la cocción de alimentos en los restaurantes del Mercado Jacaleapa.
- Cuantificar la inversión necesaria para la implementación de un biodigestor de flujo continuo para la producción de biogás con fines energéticos.
- Determinar la rentabilidad del proyecto de inversión a través del cálculo de los indicadores financieros: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y PRI (Período de Recuperación de la Inversión)

1.5 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

La implementación de un biodigestor en el Mercado Jacaleapa depende de la cantidad de biogás generado y la rentabilidad de la inversión. En la Tabla 1, se muestran las variables consideradas en el presente estudio.

Tabla 1. Variables de estudio en el proyecto de Investigación

Variables dependientes	Variables Independientes
- Cantidad de biogás	- Cantidad de residuos orgánicos generados - Composición de los residuos orgánicos generados - Cantidad de materia volátil obtenida de los residuos orgánicos
- Rentabilidad de la inversión	- Ingreso bruto por ahorro de energía - Costo de inversión de un biodigestor - Costos de operación y mantenimiento del biodigestor

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los mercados municipales de Tegucigalpa generan un alto volumen de residuos sólidos al día y que invariablemente aumentan como consecuencia del crecimiento de la población. Alrededor del 45-60% de los residuos sólidos generados corresponde a una biomasa orgánica cuya descomposición no controlada representa un problema de contaminación ambiental y cuyo valor energético es desaprovechado.

El presente proyecto pretende contribuir al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa para la generación de biogás como fuente alterna de energía calorífica a través de la implementación de un biodigestor de flujo continuo y consecuentemente coadyuvar a la reducción de la dependencia de la energía producida a base de derivados del petróleo, específicamente el gas LPG cuyo costo se incrementa año con año afectando la economía del país en general. Adicionalmente colaborar en la disminución de la contaminación ambiental y el costo de disposición final de los residuos sólidos en los vertederos municipales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 FUENTES DE ENERGÍA VERSUS CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Tal como lo apuntan los autores del libro “The Limits to Growth” (Los Límites del Crecimiento), en su primera publicación en 1972, siendo optimistas en que la energía nuclear podría resolver los problemas de escasez de fuentes de energía a nivel mundial, el impacto de ésta aún no está claro, pues aún cuando se puede reducir la contaminación ambiental debido a los gases contaminantes como CO₂ y dióxido de azufre generados por los combustibles derivados del petróleo, los subproductos radioactivos serán incrementados y no habrá efectos en reducir otros tipos de contaminación debida a procesos de manufactura, contaminación térmica y otras debidas a prácticas agrícolas. Las fuentes ilimitadas no parecen ser la respuesta ante el crecimiento sostenido en el sistema mundial, pues los recursos económicos para el impulso de estos deben ir acompañado de los límites a la contaminación ambiental.

Treintra años después, los mismos autores en su libro “Limits to Growth: 30 years update”, concluyen que el consumo que la humanidad hace de los recursos de la tierra (huella ecológica) avanza a un ritmo cada vez más rápido que los recursos disponibles (capacidad de carga). Debe haber prudencia en el consumo de los recursos basados en las limitantes físicas de disponibilidad en combinación con la reposición de los mismos, de lo contrario, con el paso del tiempo, el mundo experimentará un colapso y un exceso en el uso de los recursos globales y emisiones, respectivamente.

En contraste con lo anterior y tomando en cuenta la importancia del control de las emisiones de gases contaminantes, surge el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. Según la UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), éste es un acuerdo internacional vinculado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, cuya principal característica es que establece objetivos vinculantes para 37 países industrializados y la Comunidad

Europea para la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) (UNFCCC, 2012). Tiene por objeto reducir las emisiones de gases causantes del calentamiento global; persigue conseguir una reducción en un 5.2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para los años 2008-2012. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, sólo después que 55 naciones que suman el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero lo han ratificado.

Dentro del protocolo de Kioto se establecen algunos mecanismos orientados a disminuir los efectos negativos de los GEI, dentro de los cuales se destaca los “Proyectos MDL” o “Medidas para el Desarrollo Limpio”, bien sea disminuyendo su emisión por la reconversión de proyectos productivos, o sea fijando estos gases a la tierra a través de sumideros de carbono, planes de forestación o reforestación. Los proyectos MDL, deben ejecutarse en países en desarrollo que sean firmantes del protocolo y su particularidad es que el ahorro de GEI que generen puede ser negociado con empresas de países desarrollados para ayudarlos a conseguir sus objetivos de limitación de emisiones.

2.2 BIOENERGÍA: UNA FUENTE ALTERNA A LOS COMBUSTIBLES DE PETRÓLEO

Según Gil (2008) en su libro, “Energías del siglo XXI: de las energías fósiles a las alternativas”, los sistemas energéticos actuales han sido construidos fundamentalmente en torno a las ventajas derivadas del uso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), y ahora dependemos demasiado de ellos. Con respecto a los suministros y a su agotamiento en un plazo corto-medio probablemente se haya exagerado, gracias, sobre todo, al continuo descubrimiento de nuevas reservas y a una aplicación cada vez mayor de las tecnologías avanzadas de exploración. Sin embargo, subsiste el planteamiento de que las reservas de combustible son finitas, y a largo plazo se verán finalmente agotadas, debiendo encontrarse, por ello, sustitutos a las mismas.

Por lo anterior, uno de los principales retos del siglo XXI es proporcionar un acceso universal a la energía en una forma segura, limpia y sostenible por ello la búsqueda de fuentes alternas que reduzcan la dependencia a la energía producida a partir de fuentes fósiles como el petróleo y el gas natural.

La *bioenergía* es un término general derivado de la obtención de energía de materiales tales como la madera, paja o residuos de animales, y cuya antigüedad es escasa, en contraste con los combustibles fósiles. Los materiales citados pueden ser quemados directamente para producir calor o energía, pero también pueden ser convertidos en biocombustibles. El carbón vegetal y el biodiesel, por ejemplo, son biocombustibles obtenidos a partir de la madera y de las semillas de las plantas respectivamente (Gil, 2008).

También es posible obtener energía a partir de la fracción orgánica que compone los residuos sólidos industriales y urbanos para producción de un biogás con un contenido de metano muy similar a las características del gas natural. Los residuos, desechos o sustratos que se pueden aprovechar para la producción de biogás son muy variados. A continuación se mencionan los más comunes:

- Residuos de cosecha y de procesos agroindustriales: tallos y hojas de caña de azúcar, maleza, paja, rastrojo de maíz, espárragos papas y otros cultivos, bagazo, salvado de trigo, etc.
- Residuos de origen animal: estiércol (vacuno, porcino, caprino, entre otros), desperdicios de mataderos (sangre y vísceras), orina, paja de camas, restos de forrajes y pienso), residuos de pesca
- Residuos de origen humano: basura orgánica, desechos de mercados, restos de comida, heces, orina.

2.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se definen en la Ley de Residuos de Honduras como los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Tienen también la consideración de residuos urbanos según la citada ley, los siguientes:

- Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.
- Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.
- Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Según el Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos (Art 5. Acuerdo 378-2001), “*Desechos Sólidos*” son aquellos materiales no peligrosos, que son descartados por la actividad del ser humano o generados por la naturaleza y que no teniendo una utilidad inmediata para su actual poseedor se transforma en indeseables. Según Padilla (2010), por su composición los residuos sólidos municipales pueden clasificarse en diferentes formas según las siguientes características:

- Según su fermentabilidad: orgánicos o biodegradables e inorgánicos o no biodegradables.
- Según su inflamabilidad: combustibles y no combustibles
- Según su procedencia: domésticos, jardinería, barrios, mercados
- Según su volumen: convencionales y especiales

El promedio mundial de producción de RSU dentro de los países industrializados es de más de una tonelada de residuos sólidos al año, con un contenido energético de cerca de 9 GJ por tonelada (Gil, 2008). En América Latina y El Caribe, se calcula que

la generación promedio diaria de residuos sólidos en la población urbana, se ha duplicado en los últimos treinta años, pasando de 0.2 – 0.5 a 0.5 – 1.2 kilogramos por habitante, con un promedio regional de 0.92 kg/hab/día (Acurio, 1997). En Honduras, se estima que con una generación de residuos promedio de 0.45 kg/hab/día, la población (7, 415,972 habitantes) estaría produciendo 3,337 toneladas diarias de residuos sólidos, los cuales en su mayoría son dispuestos en botaderos o basureros a cielo abierto sin ningún tipo de control ambiental o sanitario (CCAD/PNUMA, 2005; SERNA, 2005, González et al, 2006).

En las cuatro principales ciudades del país, que son en su orden Tegucigalpa, San Pedro Sula, La Ceiba y Choloma, considerando criterios de tamaño de la población e importancia de las actividades económicas primarias, secundarias y terciarias, se generan alrededor de 1,950 Ton/día de residuos sólidos, equivalentes al 58% del volumen total del país y pone de manifiesto la importancia que tienen estas urbes como fuentes generadoras de residuos de distintas categorías (SERNA, 2005). De acuerdo a un estudio de manejo de los residuos sólidos en Honduras realizado por la Cooperación Japonesa (JICA) en 1998, se encontró que en promedio una persona genera alrededor de 0.5 Kg de RSU al día, de los cuales corresponde a un 40% de residuos orgánicos; el porcentaje restante está compuesto por papel y cartón (14%), plástico (12%), cerámica y piedra (10%), vidrio (7.7%), madera (7%), textil (6%), goma y piel (2%) y metales (1.5%) (Fig.1)

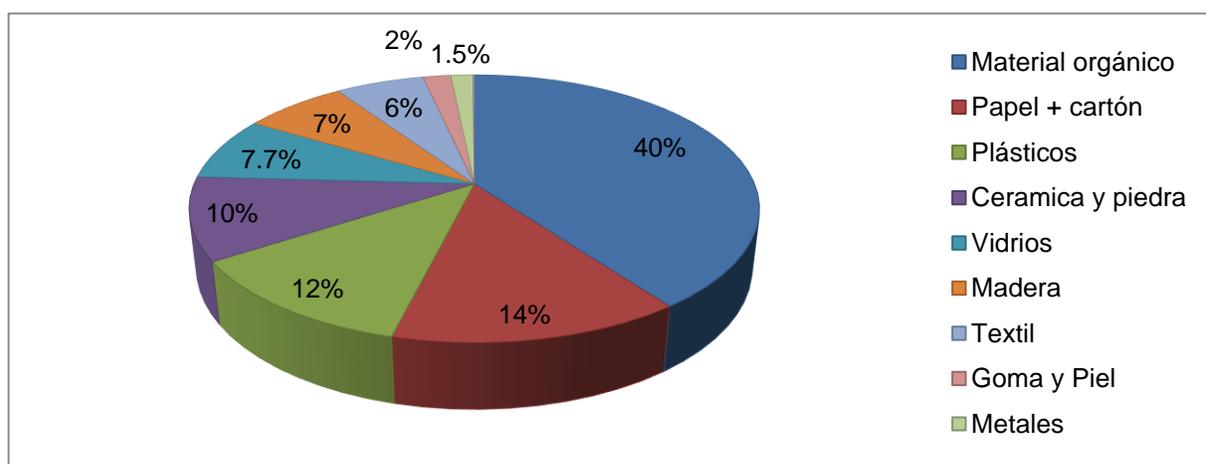


Figura 1. Composición por volumen de los residuos sólidos urbanos compactados de Tegucigalpa. Fuente: JICA, 1998.

Los datos anteriores son similares a los reportados por Durán y Vélchez (2009), quienes en un estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos realizados en el municipio de San Antonio de Oriente encontraron que del total de residuos generados, el 57% corresponde a materia orgánica, varios (26%), papel y cartón (5.53%), polietileno de tereftalato (4.15%), textiles (3.12%), vidrio (2.14%), polietileno de alta densidad (0.99%), latas de aluminio (0.38%), recipientes agroquímicos (0.68%) y llantas (0.33%).

En la actualidad existen tres formas de tratar los RSU, estas son: disposición en vertederos, combustión o disposición en digestores anaerobios en donde cada proceso puede ir acompañado de algún sistema de extracción de energía útil. El vertedero utiliza cavidades adecuadas tales como antiguas canteras y es el principal método de disposición en numerosos países incluido el Reino Unido, Alemania y Estados Unidos. La mayor parte de los países europeos utilizan una pequeña fracción en vertederos e incineran alrededor del 60% más o menos.

Los digestores anaeróbicos juegan un papel mucho más pequeño hasta ahora, pero esto puede cambiar con el aumento de restricciones al vertido y los problemas de aceptabilidad de las plantas de combustión. La extracción de energía útil en digestores anaeróbicos y los vertederos (los cuales también implican digestión anaeróbica) la energía es conseguida inicialmente por un gas, el cual es entonces usado para producir calor o para mover un generador. En la combustión, la energía es por supuesto producida directamente como calor. En los tres casos el calor puede ser utilizado directamente o para la generación de energía eléctrica.

2.4 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Un “*residuo orgánico*” es todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, entre otros.

Flores (2001), en su publicación “Guía práctica para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos”, define los residuos sólidos orgánicos como aquellos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente), se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, por ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada.

El grado de biodegradabilidad de los residuos orgánicos depende de la relación carbono y nitrógeno (C:N), la cual indica la fracción de carbono orgánico disponible frente a la de nitrógeno y cuya importancia en la biomasa orgánica a digerirse se debe a que las bacterias encargadas del proceso anaerobio de descomposición utilizan el carbón de treinta a treinta y cinco veces más velozmente que el nitrógeno.

Si la proporción C:N es superior a 30:1, el nitrógeno se elimina antes que el carbono y parte de las bacterias mueren. A medida que estas se mueren, se libera el nitrógeno de las células y se va restableciendo así la proporción más elevada. Dado que el proceso de fermentación acaba una vez que se ha consumido todo el carbono, todo el exceso de nitrógeno permanece sin digerir en los residuos y se pierde en el aire cuando se aplica el estiércol como abono.

En el proceso de asimilación de nitrógeno, parte del carbono se oxidará a CO₂, de esta forma la concentración de carbono en el fermentador se reduce cuando las bacterias recobran el nitrógeno faltante. Entonces la digestión puede continuar, pero

el proceso global será mucho más lento que si el material alimentado tuviera una relación más adecuada. Si la relación es baja, por el contrario el carbono se terminará antes que el nitrógeno, originando que el proceso de fermentación se detenga y posteriormente el material perderá el nitrógeno remanente. La idea de la digestión anaeróbica es convertir todo el carbono posible a CH₄, con la menor pérdida posible de nitrógeno. En la Tabla 2, se muestran algunos valores de relación C: N de diversos residuos o sustratos orgánicos disponibles en nuestro medio.

Tabla 2. Relación carbono: nitrógeno de diversos sustratos orgánicos

Sustrato	Relación Carbono: Nitrógeno (valores promedio)
Residuos de Comida: Frutas	35 :1
Excreta de vacuno	20 : 1
Excreta de Porcino	13 : 1
Excreta de Aves	32 : 1
Excreta de caprino / ovino	30 : 1
Excreta de Humanos	8 : 1
Paja de cereales	80 – 140 : 1
Paja de maíz	30 – 65 : 1
Desperdicios de verduras	35 : 1
Residuos de Comida: frutas	35-1 : 1

Fuente: Adaptado varios autores

Finalmente, los excesos de cualquiera de los dos componentes, carbono o nitrógeno, conllevan a una situación de carencia. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la fermentación será lenta, las temperaturas no serán altas y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono. Para el caso contrario, en altas concentraciones relativas de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica.

El aprovechamiento de los residuos generados contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

Los residuos orgánicos se pueden aprovechar de forma directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de compost, generación de biogás o incineración con producción de energía, entre otros. (Jaramillo y Zapata, 2008)

Una de las formas más comunes de aprovechamiento de los residuos orgánicos es la obtención de bio-abono a través del proceso de compostaje, el cual se define como un proceso natural y biooxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos. (Arroyave, 1999)

Por otro lado, si los desechos orgánicos son sometidos a un proceso anaeróbico de descomposición se puede producir biogás, así sea en mínimas proporciones. La producción de biogás de un determinado desecho orgánico depende de la composición físico - química y especialmente como se explicó antes, de la cantidad de carbono degradable que contenga.

De acuerdo a Salamanca (2009), no es posible predecir con exactitud la producción de biogás de determinada biomasa o mezcla orgánica, debido a que se desconoce la cantidad exacta de nutrientes y componentes del sustrato. Para estimar la producción de biogás se realizan mediciones puntuales del contenido de nutrientes, pero estos no garantizan el pronóstico de la producción de biogás debido a que estos valores varían día a día. La producción de biogás dependerá del grado de homogenización y mezcla de la biomasa orgánica, por lo cual a mayor agitación mayor será la producción de biogás. El pH es otro factor que influye en la producción de biogás, el cual se debe mantener en un rango de 6.5 a 7.5 para que las bacterias

se encuentren en condiciones apropiadas para su crecimiento. El valor energético de algunos residuos orgánicos para la producción de biogás, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de generación de biogás de algunos residuos orgánicos

Tipo de residuo orgánico	Volumen promedio de biogás generado (L/Kg. Biomasa Seca)
Excreta de Porcino	450
Excreta de vacuno	250
Excreta de Aves	460
Guano de caballo	250
Guano de oveja	200
Guano de establo	225
Paja de cereales	250
Paja de maíz	410
Paja de arroz	220
Gras fresco	410
Bagazo	160
Desperdicios de verduras	350
Lodos de aguas servidas	450

Fuente: Adaptado varios autores

2.5 EL BIOGÁS

Con el término biogás se designa a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias. Los principales componentes del biogás son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂).

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o el ACPM (combustible diesel) en motores de combustión interna.

2.5.1 HISTORIA DEL BIOGÁS

Existen muchos datos anecdóticos asociados al comienzo de la historia del biogás en donde se afirma que data de 5,000 años atrás. Ya en nuestra era, el estudioso romano Plinio describió, alrededor del año 50 después de Cristo, el brillo de unas luces que aparecían por debajo de la superficie de los pantanos. Mucho más reciente, en el siglo XVI en Persia, hay constancia escrita de uso del biogás.

La primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jan Baptista Van Helmont, en 1630, quién determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían unos gases que eran inflamables. No obstante lo anterior, las primeras noticias sobre la fermentación anaeróbica fueron reportadas por Alejandro Volta en 1776, quien descubrió la formación de un gas combustible sobre pantanos, lagos y aguas estancadas y relacionó la formación de biogás con la cantidad de materia orgánica depositada en su fondo.

En 1808, Humphrey Dhabí produce gas metano en un laboratorio y se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás. Desde esos días hasta la actualidad mucho se ha avanzado sobre el tema y actualmente se cuenta con instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales.

China es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala; existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento que proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de siglos de cultivos. La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En Europa y en Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión. En la Tabla 4, se resumen cronológicamente importantes aportes de varios científicos que han contribuido al conocimiento del biogás a partir de materia orgánica.

Tabla 4. Científicos que contribuyeron al desarrollo de conocimiento del biogás

Año	Científico	Aportes
1682	R. Boyle / Denis Papin	Predijeron la posibilidad de obtener un gas a partir de residuos animales y vegetales en descomposición.
1764	Benjamín Franklin	Describió el biogás como el causante que se prendiera fuego una gran superficie de un lago en New Jersey
1776	Alejandro Volta	Publica que en el lago Como, se forma un gas explosivo cuando se agitan los sedimentos y concluyó sobre la correlación directa entre la cantidad de material orgánico en descomposición y la cantidad de gas inflamable y que el principal compuesto del gas de los pantanos era el metano.
1804	John Dalton	Describe la estructura química del metano y lo asocia con el biogás.
1808	Humphrey Davy	Produce gas metano en un laboratorio con estiércol de ganado.
1821	Amedeo Avogadro	Elucida por primera vez la estructura química final del metano (CH ₄).
1868	Antoine Béchamp	Fue uno de los primeros en demostrar, concluyentemente, que la formación de metano es un proceso biológico. Luego identificó que una población mixta de microorganismos convertía el etanol en metano y que algunos de los productos finales formados durante el proceso de fermentación dependían del sustrato.
1875	Propoff	Agregó, por primera vez, materiales celulósicos a lodos fluviales (fangos), con fines de fermentación y pudo producir hidrógeno y metano. Descubrió que la formación de biogás sólo se producía en anaerobiosis, así mismo estudió la influencia de la temperatura en la formación de metano.
1884	Louis Pasteur	Intentó producir biogás a partir del estiércol de caballo recogido de las calles de París. En ese mismo año, junto con su alumno Ulysse Gayon obtuvo 100 litros de biogás por m ³ de estiércol al mezclarlo con agua a 35°C en anaerobiosis.
1886	Omeliansky	Realizó la comprobación de la formación de metano con el estiércol de vaca.
1890	Donald Cameron	Diseñó una fosa séptica para la ciudad inglesa de Exeter y unos años después alimentó la red de alumbrado público con el gas obtenido.
1901	Schengon	Describió las características morfológicas de las metanobacterias y sugirió un concepto claro de su capacidad de conversión en metano.
1930	Boruff y Buswell	Publican artículos sobre la producción de metano con diversos residuos.

En contraste con los descubrimientos arriba citados, en la Tabla 5 se muestran otros acontecimientos en diferentes países que marcaron la utilización del biogás como fuente de energía alterna.

Tabla 5. Acontecimientos importantes en la historia del desarrollo de la tecnología del biogás.

Año	Acontecimientos registrados
1895	En la población de Exeter (RU) las lámparas del alumbrado público comenzaron a ser alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos de su alcantarillado. Constituyendo esto, el primer uso dado al gas metano obtenido por fermentación
1906	Se realizó la construcción de la primera planta de tratamiento en Alemania
1911	Se instalan en Gran Bretaña los primeros digestores para obtener biogás a partir de residuos orgánicos.
1914	Los holandeses intentaron producir biogás de los residuos de la fabricación de tablero de paja.
1918	Los ingleses se interesan en producir metano usando residuos de granja.
1920	En China, Guorui desarrolló un digestor de 8 metros cúbicos de capacidad y fundó la Compañía "Guorui Biogas Lamp".
1921	En Birmingham (Inglaterra), se instaló el primer motor (25 HP) para utilizar el gas proveniente de fermentación de lodos.
1923	En Alemania se vendió el primer gas metano a la red pública de gas.
1940	En los Estados Unidos, se emplea el término de "digestión anaeróbica" como una parte del tratamiento de las aguas residuales, generando metano que es utilizado para generar electricidad para las propias plantas de depuración.
1945	Después de la II Guerra Mundial se construyeron cerca de 40 digestores, en Europa, pero su desarrollo se frenó por los bajos precios de los combustibles fósiles. Después de ello, la generación de biogás se extendió y se desarrolló en diversos países, tales como: Sudáfrica, Rodesia, Kenia, Uganda, Rusia, Australia, Italia, Corea, Taiwán, Japón, Israel, Estados Unidos, India y Filipinas.
1957	Un inventor inglés llamado Bates, modifica su coche para hacerlo funcionar con biogás, consiguiendo que siga funcionando durante 17 años más.
1960	Se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir del estiércol de bovino en la India, con el doble objetivo del aprovechamiento energético y el mantenimiento de las propiedades fertilizantes del digerido.
1965	Chung Po de Taiwán, publicó los diseños para los digestores fermentadores de tamaño familiar y el uso posterior del lodo para fertilizar y cultivar <i>Chlorella</i> .
1970	En China, se impulsa la construcción de digestores, mediante programas de ámbito nacional.
1977	Había más de 5 millones de digestores anaerobios en China, debido al parecer, por la mayor economía de los materiales empleados, lo que reducía los costes de inversión.

Hasta que se produjo la segunda crisis del petróleo en 1979 bajo los efectos conjugados de la revolución iraní y de la guerra Irán-Irak, en donde el precio del petróleo se multiplicó por 2,7 desde mediados de 1978 hasta 1981, el proceso anaerobio, había sido considerado por los países industrializados como un tratamiento para reducir las altas cargas orgánicas de algunos residuos, pero sin

aprovechar los lodos como fertilizantes o el metano como combustible. La segunda oleada de construcciones de digestores tuvo lugar precisamente a raíz de la mencionada crisis, pero su desarrollo se frenó por la escasa producción de metano y el elevado coste de las instalaciones a finales de los 80 lo cual se vio agravado por la caída de los precios del petróleo.

Según Moncayo (2012), en su libro "Biodigestores: Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás", en la mayoría de países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y la calefacción de galpones para animales de granja (pollos y cerdos). A pesar de ello, el uso del biogás en la sustitución de combustibles fósiles para la generación de electricidad en motores de combustión interna ha cobrado importancia en los últimos años.

En los últimos cuatro años se ha iniciado la construcción de varias plantas de biogás en Chile, República Dominicana, Honduras, Ecuador, México, Brasil, Bolivia, Venezuela y Costa Rica. En Chile se ha desarrollado un proyecto de una planta de biogás para la generación de 5 MW aprovechando forraje de maíz. En Nicaragua, la licorera de Nicaragua (CLNSA) construyó en el año 2005 una planta de biogás para el aprovechamiento de las vinazas con una capacidad para la producción de 2.5 MW de energía. En Honduras, la empresa Ecopalsa, que funciona dentro de Palcasa, inauguró el proyecto ECO II que generará 930 kilovatios por hora a partir de la captación de gas metano originado de las aguas residuales y la biomasa que salen de la planta extractora de fruta de palma africana.

Algunas ONG y proyectos que actualmente están impulsando la construcción de biodigestores a menor escala para producción de biogás en Honduras son:

- FUCOSOH (ISH) desde el 2004 introdujo en Santa Bárbara 25 biodigestores de polietileno y continúa promoviéndolos entre su población.
- DIMA promueve los biodigestores en la cordillera del Merendón, con el fin de mitigar la contaminación con aguas mieles derivadas de beneficios húmedos de café.

Tiene programado la construcción de 50 biodigestores, en alianza con Aguas de San Pedro, el Club Rotario y la Fundación Merendón, de los cuales se han construido 10 pero solo 3 están funcionando.

- CATIE- FOCUENCAS está trabajando en la zona de Valle de Ángeles en Francisco Morazán y tiene programado la construcción de 10 biodigestores. AHPROCAFE, en la mancomunidad Chortí del departamento de Copán, tiene programada la construcción de 63 biodigestores modelo domo fijo.
- La Fundación Simiente, está trabajando en Langue, en el departamento de Valle, donde ha construido 6 biodigestores de modelo de polietileno, de los cuales 3 están funcionando.

2.5.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL BIOGÁS

La composición específica del biogás depende de la biomasa digerida y del tipo de biodigestor utilizado. En términos generales y tal como se puede observar en la Tabla 6, el biogás está compuesto en un 50 a 70% de metano y un 30 a 50% de dióxido de carbono, además de contener, hidrógeno, hidrógeno sulfurado y otros gases de menor importancia.

Tabla 6. Composición típica del biogás

Componente del biogás	Contenido (%)
Metano (CH_4)	50 – 70
Dióxido de Carbono (CO_2)	30 – 40
Hidrógeno (H_2)	1 – 5
Nitrógeno (N_2)	0,5 – 1
Acido sulfhídrico (H_2S)	0 – 1
Saturación de Vapor de Agua	80 - 100

Fuente: Adaptado varios autores

Algunas de las propiedades físicas del biogás como: fórmula química, densidad y temperatura de ignición, entre otras se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Propiedades físicas del biogás

Propiedades físicas	Biogás
Fórmula química	CH₄ + CO₂
Peso Molecular	32.8
Densidad (g/l)	1.22
Relación de Densidad con el aire	0,9
Temperatura de Ignición (°C)	700
Contenido de Oxígeno para la explosión (% vol)	6 - 12

Fuente: Adaptado varios autores

En la Tabla 8 se observa que al comparar el poder calorífico del biogás con el gas natural o el propano, éste es inferior, sin embargo puede fluctuar dependiendo del porcentaje de metano presente en el biogás. La densidad es de 1,25 kg/m³ y la relación de densidad con el aire es menor a 1, lo que indica que es menos pesado que el aire y a su vez lo hace un gas muy volátil que tiende a subir cuando existen fugas dentro del sistema. Esta característica hay que tenerla muy en cuenta cuando se ingresa en zonas en donde haya una fuga de biogás, ya que éste sube rápidamente a la superficie y se mezcla con el aire formando una mezcla explosiva (Moncayo, 2012). La temperatura de ignición es relativamente alta por lo cual no estalla con facilidad. La velocidad de encendido es de 0.25 m/s

Tabla 8. Valor energético del biogás en comparación con otras fuentes

Descripción	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrógeno
Valor Energético (kWh/ m ³)	6.0	10	26	10	3.00
Densidad (Kg/ m ³)	1.25	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.90	0.54	1.51	0.55	0.07
Temperatura de encendido (°C)	700	650	470	650	585
Contenido de oxígeno para explosión (Vol.- %)	6-12	4.4-15	1.7-10.9	4.4-16.5	4-7

* Biogás: 70% CH₄, 28% CO₂ y 2% otros gases Fuente: Moncayo, 2012.

2.5.3 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS

Una vez que se ha purificado el metano contenido en el biogás, su composición es muy similar a la del gas natural. La purificación del biogás no es más que la remoción del dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor del biogás como combustible de vehículos, siendo muy similar al gas natural. El sulfuro de hidrógeno se elimina para disminuir el efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás. El biogás producido por un digestor puede ser usado para producir calor o electricidad y en muchos casos ambas cosas. Las alternativas más comunes para el aprovechamiento del biogás son:

- Combustión directa para la producción de calor
- Motores de combustión interna, con aprovechamiento de la potencia mecánica o eléctrica y con o sin recuperación de calor (co-generación)
- Turbinas de gas o vapor, con aprovechamiento de la potencia eléctrica y con o sin recuperación de calor
- Vehículos motorizados
- Vertido a la red de gas natural
- Producción de sustancias químicas

El biogás es usado como cualquier otro combustible para uso doméstico e industrial, el prerrequisito indispensable es que exista la disponibilidad de quemadores diseñados especialmente para operar con biogás. La mayor parte de los motores de ignición por chispa pueden ser convertidos a funcionamiento dual como han hecho algunas empresas de saneamiento con su propia flota de vehículos. El contenido de energía de los residuos anuales procedentes de animales de granja en el Reino Unido, por ejemplo, se piensa que es mayor de 100 PJ, y el recurso accesible estimado en forma de biogás es de 10 PJ, lo suficiente para soportar una capacidad de generación instalada de hasta 100 MW.

En el mercado de los energéticos, la planta de biogás compite con la leña, el gas propano y la electricidad; fuentes utilizadas usualmente en la cocción; con el kerosene, las velas y la electricidad en la iluminación, sobre todo en lugares donde el servicio es deficiente o no existe; con el gas propano y la electricidad en la refrigeración y con la gasolina o el diesel, como combustible para motores. Según Martí (2008), el poder calorífico del biogás es menor al del butano o propano, e implica que se tarda en cocer más tiempo los alimentos que cuando se hace con gas natural o LPG.

Algunos autores reportan que el biogás debido a su elevado contenido de metano, posee un poder calorífico que puede oscilar entre 4,500 a 6,300 kcal/m³ (6,4 kWh/m³) es decir puede llegar a generar un calor equivalente a 22,000 BTU/m³ o 21,5 MJ/m³. Un m³ de biogás que se aprovecha en un generador de energía eléctrica es suficiente para generar un estimado de 2.2 kWh de electricidad, generar 20 horas de luz equivalente a un bombillo de 100 W o hacer funcionar un motor de 3 HP durante 1 hora (Moncayo, 2012).

Otras equivalencias energéticas del biogás reportadas por diferentes autores indican que un metro cúbico de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0,7 litros de gasolina, 0,6 litros de ACPM ó 2 kg de leña, lo que previene en gran medida la destrucción de los bosques. Se ha calculado que 1 m³ de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles.

2.6 DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo que ocurre bajo condiciones estrictamente anaerobias en el cual los microorganismos degradan la materia orgánica en azúcares y a continuación en diversos ácidos los cuales se descomponen y estabilizan, transformándose en biogás o gas biológico formado por

metano (CH₄) y otros productos inorgánicos incluyendo principalmente dióxido de carbono (CO₂).

El proceso biológico de degradación de la materia prima orgánica al igual que el compostaje se desarrolla por acción enzimática de los microorganismos que estabilizan la porción fermentable de los residuos a través de las diferentes etapas. Las fases generales de este proceso de fermentación son:

- **Fase Hidrolítica:** se transforman los complejos orgánicos de carbohidratos, lípidos y proteínas a compuestos más sencillos como azúcares.
- **Fase Ácida:** formación de formiatos, acetatos y propionatos, etanol, hidrógeno y gas carbónico.
- **Fase Acetogénica:** conversión de los compuestos intermedios (alcoholes, ácidos grasos volátiles, y compuestos aromáticos) a ácido acético y liberando como producto hidrógeno y dióxido de carbono.
- **Fase Metanogénica:** formación de metano y gas carbónico, mediante la reducción del metanol y ácido acético.

2.6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DEL GAS METANO

A continuación se describe en detalle las etapas de transformación de la materia orgánica en metano, principal componente del biogás:

- **Hidrólisis**

Durante esta etapa los principales componentes de la biomasa orgánica sufren una hidrólisis inicial generada por la adición de moléculas de agua, que los conviertan en sustratos orgánicos simples, que luego se fermentan produciendo ácidos orgánicos, principalmente ácido acético, propiónico, butírico y láctico, y en menor proporción compuestos neutros como metanol, etanol, NH₃, H₂ y CO₂. Una vez realizado este proceso, la acción de las exo-enzimas de las bacterias acidogénicas o fermentativas

pueden asimilar la materia orgánica como fuente alimenticia para cumplir sus labores metabólicas a una velocidad tal que dependerá de las características del sustrato.

- **Acidogénesis**

Cuando la materia orgánica está en forma de compuestos simples (azúcares y ácidos grasos), las bacterias toman estos sustratos, incorporándolos en sus procesos metabólicos realizando la degradación y tomando los nutrientes necesarios para su alimentación y reproducción. Estas dos primeras fases son realizadas por un primer grupo de bacterias denominadas *facultativas* pues tienen la capacidad de consumir oxígeno molecular para su metabolismo y se adaptan a la presencia de oxígeno. Existe otro segundo grupo de bacterias denominadas *estrictas* que no crecen en presencia de oxígeno. El consumo del oxígeno molecular disponible en el aire por las bacterias facultativas, produce el ambiente anaeróbico para el crecimiento de las bacterias estrictas.

- **Acetogénesis**

En esta etapa se convierten los compuestos intermedios u ácidos orgánicos (alcoholes, ácidos grasos volátiles, y compuestos aromáticos) a ácido acético por medio de las bacterias acetogénicas y liberando hidrógeno y dióxido de carbono. El propionato es convertido en ácido acético por la acción de la bacteria *Syntrophobacter wolinii*. Los ácidos grasos volátiles que poseen cuatro o siete carbonos son convertidos por *Syntrophomonas wolfei*. El hidrógeno es convertido a ácido acético por bacterias acetogénicas hidrogenoclasticas como la *Acetobacterium*.

En base a la acidogénesis en la cual se producen ácidos grasos como ácido propiónico y ácido butírico, entre otros, y porque los ácidos grasos no son convertidos directamente a gas es necesario que estos sean transformados mediante la acetogénesis acidoclastica a ácido acético como un paso anterior a su transformación a metano, debido a que el ácido acético es la principal fuente de metano llegando a ser un 70% del total obtenido durante el proceso. Por otro lado

existen compuestos que si pueden transformarse directamente a metano como el metanol y el ácido fórmico, pero no se encuentran en gran cantidad en la materia prima es por ello que es mínimo el aporte que pueden generar para la producción de biogás. Durante el proceso de digestión anaerobia se realiza la conversión del hidrógeno producido en las etapas de acidogénesis y acetogénesis acidoclástica a ácido acético. Con esta reacción se logra que los niveles de hidrógeno presentes se mantengan dentro del intervalo apropiado para la producción de biogás, el cual es de 0,1 a 1%.

- **Metanogénesis**

En esta etapa un tercer grupo de bacterias metanogénicas estrictamente anaeróbicas convierten el ácido acético en metano y dióxido de carbono. Las bacterias más importantes son las que transforman los ácidos propiónico y acético en metano, denominadas *metanogénicas acetoclásticas*. El otro grupo de bacterias metanogénicas son las *hidrogenoclásticas* que consumen el hidrógeno generado y lo convierten con dióxido de carbono en biogás. Entre las bacterias más comunes para la formación de metano en la fase metanogénica está la *Metanosarcina* la cual tiene un crecimiento rápido y tiene la capacidad de convertir hidrógeno, CO₂ y metanol en metano.

Por otro lado está *Metanothix* que tiene un crecimiento lento y con la capacidad de convertir al ácido acético en metano, entre muchas más bacterias existentes en el sustrato. Por medio de la metanogénesis acetoclástica se convierte el ácido acético en metano, vía principal de la producción de metano, ya que corresponde al 70% de la producción total. En la fase de metanogénesis hidrogenoclástica, se compete con la acetogénesis hidrogenoclástica debido a la capacidad que poseen las bacterias metanogénicas para transformar el hidrógeno con dióxido de carbono a metano. Estas bacterias realizan con la ayuda de la acetogénesis la labor de mantener el nivel del hidrógeno en el sistema. En la Fig. 2 se detalla las principales reacciones bioquímicas del proceso de digestión anaerobia.

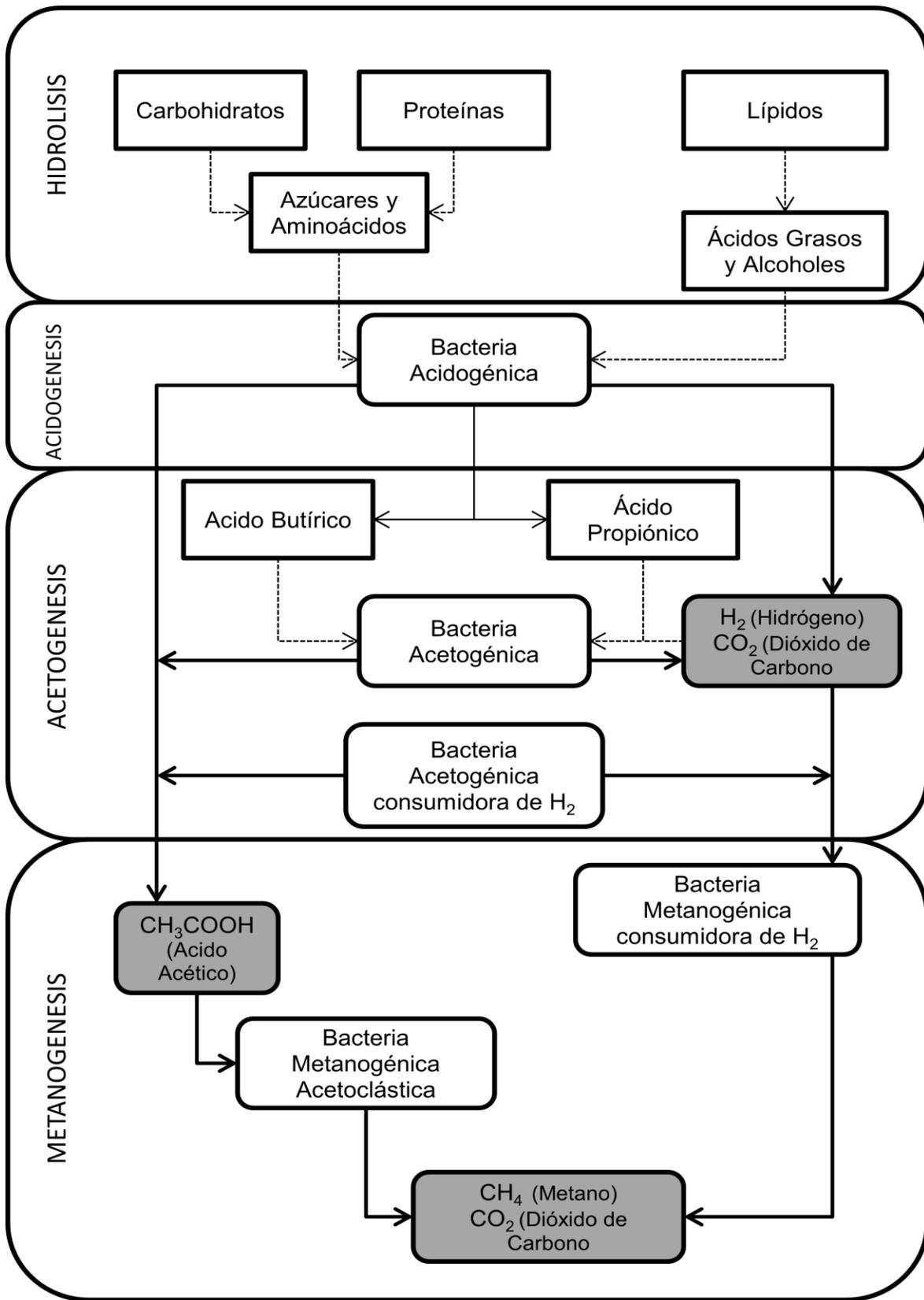


Figura 2. Etapas en la producción de gas metano a partir de residuos orgánicos. Fuente: Salamanca, 2009

2.7 LOS BIODIGESTORES

2.7.1 EL BIODIGESTOR: CONCEPTUALIZACIÓN

El biodigestor es un tanque cerrado dentro del cual la materia orgánica es degradada en condiciones anaeróbicas, es decir sin oxígeno, por acción de microorganismos transformándola en metano, dióxido de carbono y lodos residuales. Un biodigestor es un tanque construido de diferentes formas geométricas, tamaños y materiales, donde se almacenan los residuos orgánicos como sobrantes de cocina, estiércol de animales y humanos, material vegetal, etc. Estos elementos diluidos en agua forman una mezcla que es descompuesta biológicamente por microorganismos.

El biodigestor posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el mismo. Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. En el proceso de descomposición se forma el biogás, por lo que el tanque debe disponer de algún sistema que le permita capturar el biogás controlando su presión y evitando su mezcla con aire.

Como resultado de la digestión anaeróbica de la biomasa orgánica, además del biogás se obtiene otro producto que puede ser aprovechado, este es el bio-abono conocido como biol el que es el residuo orgánico que se descarga del biodigestor después del proceso de digestión anaeróbica, este es un fluido con características físicas de lodo – líquido, el cual posee unas excelentes propiedades fertilizantes debido a que está constituido por una fracción orgánica que no se degrada anaeróbicamente y por el material inorgánico el cual aporta con nutrientes y micro elementos.

En el proceso de digestión anaeróbica se remueve solo la masa volátil que puede generar el biogás (CH_4 , CO_2 , H_2S) que representa entre 5 al 10% del volumen total de la carga. Es por ello que en el efluente del biodigestor se conservan nutrientes originales (N, P, K) contenidos en su materia prima (biomasa o sustrato), que son esenciales para los cultivos. Esto lo hace un valioso fertilizante orgánico, estabilizado químicamente y prácticamente libre de microorganismos patógenos y de sencilla utilización. El contenido de nitrógeno, carbono, fósforo, potasio y otros nutrientes, depende del origen de la biomasa que se alimenta al digestor, del tiempo de residencia, de la carga orgánica volumétrica y la temperatura del proceso. Por medio de la digestión se degrada de 25 a 80 % de materia orgánica en masa volátil en su mayoría en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (IICA, 2009).

Según Moncayo (2008), un metro cúbico de bio-abono producido y aplicado diariamente, puede llegar a fertilizar dos hectáreas de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg de nitrógeno por hectárea de los cuales estarán disponibles en el primer año de 60 a 70 kg. El bio-abono no deja residuos perjudiciales a la tierra gracias a su origen orgánico, por lo contrario aumenta la calidad de los cultivos y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con fertilizantes químicos.

Los componentes básicos de un biodigestor son:

- **Tanque de mezcla:** es una caja de mampostería o concreto donde se realiza la mezcla de residuos orgánicos y agua, que luego se introduce en la cámara de digestión a través del tubo de entrada.
- **Reactor o fermentador:** es un tanque donde se produce la fermentación anaeróbica.
- **El gasómetro:** es la sección donde se almacena el gas; el gasómetro y el digestor pueden constituir un solo cuerpo o estar separados.
- **Tanque de descarga:** recibe el material digerido o efluente. En el caso de la planta de cúpula fija, sirve además, como tanque de compensación de presiones.

- **El efluente:** es un lodo bastante fluido constituido por la fracción orgánica que no alcanza a fermentarse y por el material agotado (biomasa muerta).

Los biodigestores califican como proyectos MDL, establecidos en el Protocolo de Kioto, porque capturan metano aprovechando los desechos agroindustriales que de otra manera serían vertidos al medio ambiente causando contaminación, pues estos sustratos se degradan, producen y libera gas metano contribuyendo así al calentamiento global. De esta manera el gas metano generado con los biodigestores puede ser utilizado en reemplazo de los combustibles derivados del petróleo.

2.7.2 TIPOS DE BIODIGESTORES

Existen dos tipos generales de biodigestores: el sistema Hindú y el Chino. El biodigestor hindú fue desarrollado en la India en los años 50 ante la necesidad de combustible que tenían los campesinos para los tractores y calefacción para sus hogares en época de invierno, luego cuando terminó la guerra se volvió a conseguir combustibles fósiles por lo que dejaron los biodigestores y volvieron a los hidrocarburos. Como India es pobre en combustibles se organizó el proyecto KVICK (Kaddi Village Industri Commision) de donde salió el digestor Hindú y el nombre del combustible obtenido conocido como biogás. Este digestor trabaja a presión constante y es muy fácil de operación.

El biodigestor Chino fue desarrollado al observar el éxito del biodigestor Hindú; el gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que el problema en China no era energético sino sanitario. Los Chinos se deshicieron de las heces humanas en el área rural y al mismo tiempo obtuvieron abono orgánico, con el biodigestor se eliminan los malos olores y al mismo tiempo se obtiene gas para las cocinas y el alumbrado. El biodigestor chino funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir gas sino el abono orgánico ya procesado.

Los biodigestores se clasifican además según la forma de alimentación de los mismos y de su periodicidad en la producción de biogás, estos son:

- **BIODIGESTORES DISCONTINUOS:**

Los biodigestores discontinuos o por lotes son contenedores cerrados que se cargan de biomasa orgánica una vez y no se permite extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso completo de biodegradación y producción de biogás. Este tipo de biodigestores se aplica cuando existen problemas operativos (falta de personal) o cuando la materia orgánica a procesar está disponible en forma intermitente. Para obtener una producción de biogás constante se instalan varias unidades las cuales se cargan a distintos tiempos de tal forma que cuando disminuye o acaba la producción de gas de una unidad, la siguiente unidad esté empezando la producción del mismo. La producción de biogás de este tipo de biodigestores es de 0,5 a 1 m³ biogás / m³ digestor.

- **BIODIGESTORES SEMI-CONTINUOS:**

Los biodigestores semi-continuos son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total; ésta se deposita en la cámara de carga e igualmente se debe extraer de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para así mantener el volumen constante. Generalmente producen biogás casi permanentemente, gracias al suministro constante de nuevos nutrientes para las comunidades de bacterias. El digestor tipo semi-continuo es el más utilizado en áreas rurales o en pequeñas granjas agrícolas, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Entre los diseños más comunes son los conocidos tipo hindú y el chino.

- **BIODIGESTORES DE FLUJO CONTINUO**

La característica de este tipo de biodigestores es que la carga añadida periódicamente se mezcla casi en su totalidad con el contenido ya presente en cámara de digestión. Los biodigestores de flujo continuo permiten la producción permanente de biogás para su aprovechamiento diario. Se conocen tres tipos de biodigestores de flujo continuo: de cúpula fija, de cúpula móvil y biodigestor tipo salchicha. A continuación se describe cada uno de ellos:

- **Biodigestor continuo de cúpula fija**

El biodigestor de cúpula fija es una sola estructura de materiales rígidos. Debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de la misma, se recomienda su construcción en forma de domo, bajo tierra y la impermeabilización de su interior para evitar el escape de líquido y gases. Se requiere de mano de obra calificada para su diseño y construcción. Su principal característica es que trabaja con presión variable; entre sus desventajas son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser hermética, sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir, carecen de partes metálicas que pueden oxidarse y larga vida útil (Fig. 3)

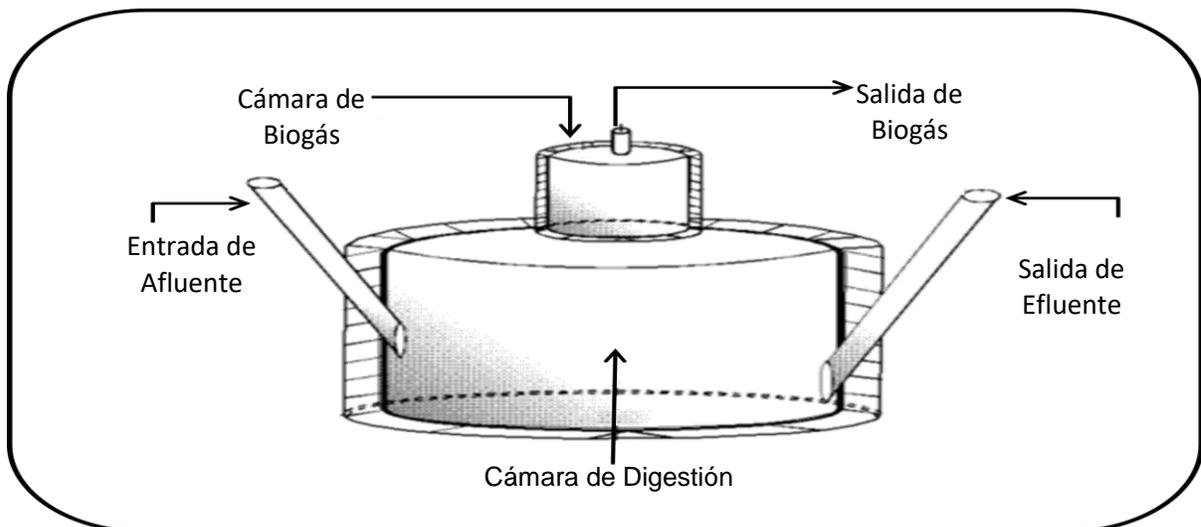


Figura 3. Esquema de un biodigestor de cúpula fija o tipo Chino.
Fuente: Botero y Preston, 1987.

- Biodigestor de cúpula móvil

El biodigestor de cúpula móvil se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana que flota sobre la masa de fermentación o en un anillo de agua. (Fig. 4). Las ventajas de este tipo de planta son que trabajan a presión constante y se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana; pero tiene como desventaja que está expuesto a la corrosión ya que las campanas son generalmente metálicas. Últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio y se han obtenido buenos resultados. Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento, debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.

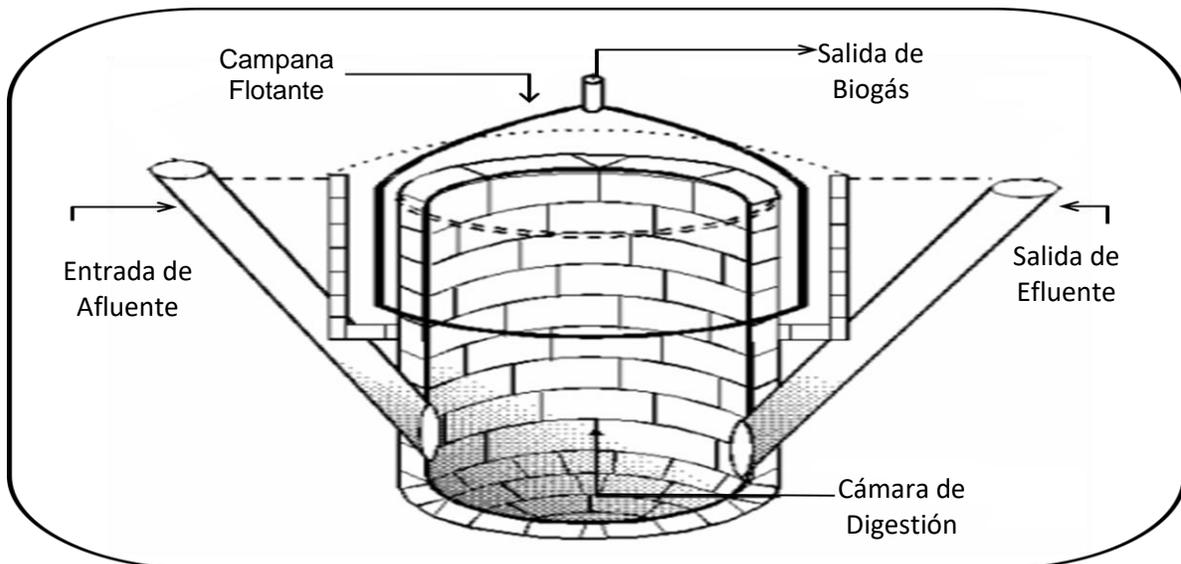


Figura 4. Esquema de un biodigestor de cúpula móvil.

Fuente: Botero y Preston, 1987.

- Biodigestor de estructura flexible

En los años 90 se recurrió al PVC y al polietileno, material vigente hoy principalmente en América Latina y Vietnam para la fabricación de biodigestores de menor costo. Tal como se observa en la Fig. 5, estos materiales tienen forma tubular con la entrada y la salida del material situados en los extremos opuestos y la salida de gas en el centro. El modelo tipo balón, consiste en un balón plástico completamente sellado, donde el gas se almacena en la parte superior,

aproximadamente un 25% – 30 % del volumen total. Tiene como desventaja que debido a su baja presión es necesario colocarle sobrepesos al balón para aumentarla. Su vida útil es de 5 a 10 años y el plástico debe ser resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. La planta balón está compuesta de una bolsa de plástico completamente sellada; la parte inferior (75% de volumen) se rellena de la masa de fermentación y la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas.

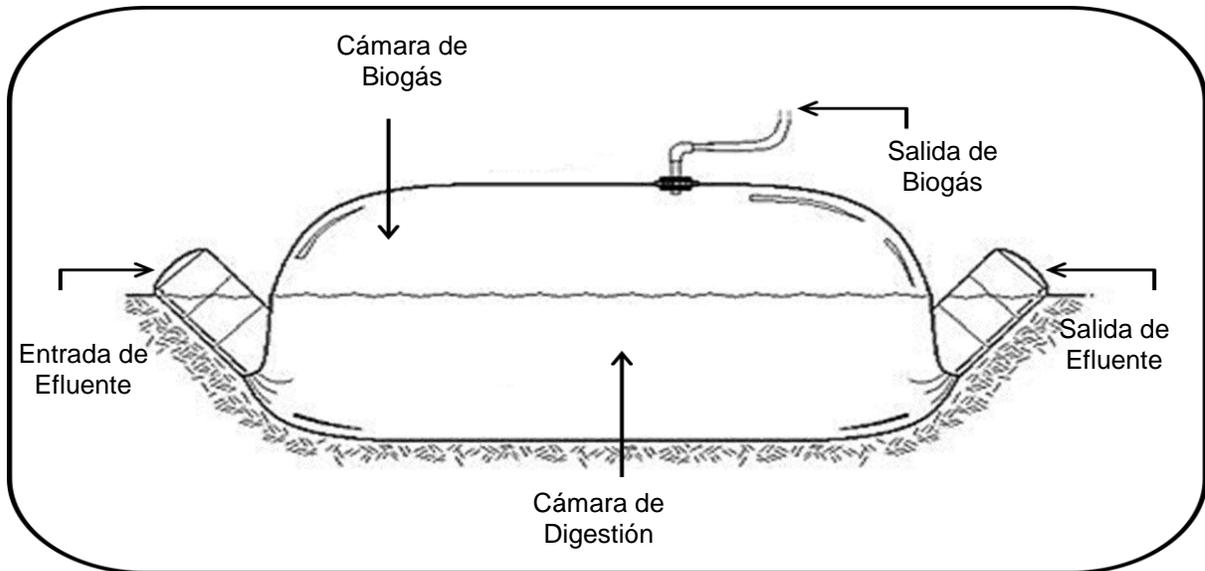


Figura 5. Esquema de un biodigestor de estructura flexible.
Fuente: Botero y Preston, 1987.

2.7.3 VOLUMEN Y COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO EN UN BIODIGESTOR

Uno de los parámetros que permite estimar la producción de biogás en un biodigestor es la productividad metanoica, la cual se define como la cantidad de metano generado en la unidad de tiempo con respecto a la materia dispuesta en el reactor. Según Sogari, (2003), la expresión matemática que permite calcular la productividad de metano de un orgánico en un tiempo dado, es la siguiente:

$$M_{max} = \frac{V_{CH_4}}{Sorg\ total}$$

Donde V_{CH_4} es el volumen de metano generado y $Sorg\ total$ es la cantidad de materia orgánica total utilizada en todo el proceso.

Seguidamente se profundiza acerca de la influencia, en la productividad de los biodigestores, de factores químicos como la composición y las combinaciones de sustratos, la adición de grasas y la presencia de inhibidores. La velocidad de degradación de la materia orgánica se consigue también elevando la temperatura del proceso dentro del biodigestor, pero solo se logra hasta un cierto límite, ya que no es posible aumentar demasiado la temperatura por que las bacterias se inhiben o mueren y la producción de biogás se detiene (Moncayo, 2008).

La producción de biogás dependerá del grado de homogenización y mezcla de la biomasa, por lo cual a mayor agitación mayor será la producción de biogás. El pH es otro factor que influye en la producción de biogás, el cual se debe mantener en un rango de 6.5 a 7.5 para que las bacterias se encuentren en condiciones apropiadas para su crecimiento (Expósito, 2004). En términos generales, el volumen de biogás producido se ve afectado por la actividad metabólica involucrada en el proceso de producción del biogás y por otros factores; entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Ausencia de oxígeno
- Tipo de biomasa (nutrientes disponibles)
- Masa Seca y Masa Volátil
- Carga Orgánica Volumétrica
- Relación Carbono-Nitrógeno de los sustratos
- Grado de mezclado de la biomasa
- Temperatura del proceso
- Tiempo de Retención Hidráulica
- Nivel de Acidez (pH)
- Agregado de inoculantes
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso

Una manera general de expresar el volumen de biogás generado por el digestor es metros cúbicos de biogás por metro cubico de reactor (m^3 biogás / m^3 reactor).

Estos volúmenes difieren según el tipo de alimentación, concentración de sólidos volátiles, tiempo de retención hidráulica (TRH), temperatura, cantidad de inhibidores y el diseño del biodigestor. Según Gil (2008), un digestor que funcione correctamente, cada tonelada seca de entrada producirá de 200 a 400 m³ de biogás con un 50% a un 75% de metano, y una salida energética media de 8 GJ por tonelada de entrada.

La composición del biogás varía de acuerdo a la composición de la carga empleada, la cantidad de materia orgánica, la temperatura y el tiempo de digestión. De manera general la producción promedio oscila entre uno a dos m³ biogás por cada m³. La producción de biogás en biodigestores de flujo continuo oscila entre 0.3 y 0.7 m³ por cada m³ de biodigestor. Un biodigestor de 75 m³ de capacidad genera, por tanto, entre 22.5 y 52.5 m³ por día, dependiendo del tiempo de retención y la temperatura.

Finalmente, según Rivas, Faith y Guillén (2009), el rendimiento de un biodigestor está ligado principalmente a la estructura de la comunidad microbiana presente en el mismo. Además, la producción de metano tiene un límite que depende también de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor, sin embargo mediante la manipulación de los factores químicos, físicos y biológicos se puede adaptar, de un modo sencillo, la producción de biogás a la demanda actual de energía. Entre estos factores cabe resaltar los que resultan de bajo costo, como por ejemplo la combinación de sustratos, la adición de grasas, la separación de los sólidos y la inoculación de los biodigestores con microorganismos.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE DEL ESTUDIO

La presente investigación es de tipo mixta, a través de la recolección de datos cuantitativos y cualitativos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se llevó a cabo una metodología específica de acuerdo al tipo de información requerida. El universo considerado para el muestreo fueron los 121 locales comerciales del mercado, de los cuales a través de observaciones de campo y una encuesta aplicada, se identificaron 17 locales generadores de residuos orgánicos, mismos que se constituyeron como la unidad de análisis de la presente investigación. En los siguientes apartados se detalla la metodología aplicada.

3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS LOCALES QUE GENERAN RSO EN EL MERCADO JACALEAPA.

Para la identificación de los locales del Mercado Jacaleapa que generan residuos orgánicos se siguió el siguiente procedimiento:

- Se obtuvo la autorización escrita de la Gerencia de Orden Público de la Alcaldía Municipal del Distrito Central y se hizo una entrevista no estructurada al administrador del Mercado Jacaleapa para conocer el número de locales y la clasificación de los mismos según el rubro.
- Se aplicó una encuesta estructurada a los 121 locatarios del mercado para identificar el tipo de residuos sólidos que generan y determinar la frecuencia de eliminación de los mismos. En el Anexo 1 se muestra la encuesta utilizada para tal fin.

- De los locales encuestados, se tomó una *muestra dirigida o no probabilística* compuesta por 17 locales generadores de residuos orgánicos: 7 correspondientes a verduras y frutas y 10 a restaurantes.

3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA

Para cuantificar el volumen de residuos sólidos orgánicos (RSO) generados se realizó un muestreo durante 5 días para contemplar las variaciones que se pueden dar debido a la mayor afluencia de usuarios en el mercado según el día de la semana. El procedimiento seguido se muestra en la Fig. 6 y éste consistió de:

- Capacitación de los 17 locatarios generadores de RSO.
- Se suministró a discreción varias bolsas de polietileno transparente de 20 Kg de capacidad identificadas con el número de local.
- Se registró en un formulario la cantidad diaria generada por local (Kg RSO/local/día), cantidad diaria generada en el mercado (Kg RSO/mercado/día) y la proyección del volumen anual de residuos orgánicos generados en el mercado (Kg RSO/año)



Figura 6. Secuencia gráfica de pesaje y caracterización diaria de los RSO del Mercado Jacaleapa.

3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA

Para efectuar la caracterización de los RSO recolectados se realizó una adaptación de la norma oficial mexicana NMX-AA-22-1985 citada por Sbarato (2009), en su libro “Aspectos generales de la problemática de los residuos sólidos urbanos” y que es relativa a la selección y cuantificación de subproductos y la cual se detalla a continuación:

- Se obtuvo una muestra de RSO de características homogéneas mediante la técnica del cuarteo según la norma NMX-AA-15-1985 y para lo cual, se tomó cada bolsa de 20 Kg de RSO de cada local muestreado para el estudio de generación y se vació formando un montón o pila sobre un área plana horizontal de 4 m por 4 m. El montón de RSO se traspaleó hasta homogeneizarlos, se dividió en cuatro partes iguales A,B,C,D y se eliminó las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg, para hacer una clasificación cualitativa de subproductos según su naturaleza. (Fig 7)
- Los sub-productos ya separados se pesaron y se registró el resultado en un formulario (Anexo 2)
- El porcentaje en peso de cada residuo se calculó usando la siguiente fórmula:

PS = (G₁ / G) x 100, donde:

PS= Porcentaje del producto considerado

G₁= Peso del Producto considerado, descontado el peso de la bolsa empleada

G= Peso Total de la muestra



Figura 7. Secuencia gráfica de la técnica del cuarteo para la toma de una muestra homogénea de RSO en el Mercado Jacaleapa

3.2.4 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE BIOGÁS Y EQUIVALENTE ENERGÉTICO PRODUCIDO A PARTIR DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA.

A partir de la información de cuantificación y composición de los RSO generados en el mercado se procedió a hacer una estimación del volumen de biogás y el valor energético que potencialmente se puede generar y para lo cual se tomó una muestra homogeneizada de un kilogramo de los RSO generados en el mercado y se analizó en UNILAB de la Universidad Tecnológica Centroamericana para determinar el porcentaje de sólidos totales y sólidos volátiles. La cantidad de biogás se calculó usando las fórmulas detalladas en la Tabla 9.

Adicionalmente se efectuó una revisión de datos científicos reportados por Moncayo (2012) sobre cantidad de biogás producido a partir de residuos de mercados

similares a las características de los componentes de los residuos identificados en el mercado Jacaleapa.

Tabla 9. Fórmulas para el cálculo de producción de biogás

Descripción	Fórmula / Valor	Unidades
Carga diaria (C_d)	<i>RSO generados/día</i>	Kg
Grado de dilución (G_d)	% mínimo	10
Mezcla de Carga Diaria	$(MC_d) = (C_d \times \%ST) / G_d$	Litros
Temperatura Media del lugar	24	°C
Tiempo de Retención TRH	$TRH = V_L / MC_d$	Días
Volumen Líquido del Biodigestor (V_L)	$V_L = C_d \times TRH$	Litros
Volumen de Gas (V_G) (25% del Volumen total)	$V_G = V_L / 3$	Litros
Volumen Total (V_T)	$V_T = V_L + V_G$	Litros
Porcentaje Sólidos Totales (%ST)	Determinado en laboratorio	%
Sólidos Totales (ST)	$ST = (C_d \times \%ST) / V_L$	Kg/m ³
Porcentaje de Sólidos Volátiles (%SV)	Determinado en laboratorio	%
Carga Orgánica Volumétrica ó Sólidos Volátiles (COV o SV)	$COV = ST \times \%SV$ ó $SV = ST \times \%SV$	Kg MV/m ³
Factor de Producción de biogás (FP)	0.40-0.60 (Valor de referencia para desechos de mercado: 400-600 m ³ /ton MV)	--
Producción de Biogás al día (PB)	$PB = FP \times SV$	m ³ / m ³ VL/día
Producción de Biogás	$PB \times V_L$	Litros / día ó m ³ /día)

Finalmente, el valor de metros cúbicos de biogás producido se expresó en energía calorífica en BTU (British Thermal Units: Unidades Térmicas Británicas) usando la equivalencia de 1 m³ de biogás = 22,000 BTU.

3.2.5 INFRAESTRUCTURA Y COSTO DE UN BIODIGESTOR EN EL MERCADO JACALEAPA

Para determinar la inversión requerida para la implementación de un biodigestor para la generación de energía se identificó el biodigestor tubular de polietileno o tipo Taiwán como el más apropiado de acuerdo al volumen de residuos orgánicos generados en el mercado y el bajo costo del mismo. Se efectuó el cálculo de la inversión necesaria para la puesta en marcha y mantenimiento del mismo, siguiendo el procedimiento de construcción reportado por Botero y Preston (1987), en su documento “Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación, operación y utilización” por ser aún válido y ampliamente utilizado en el contexto actual.

3.2.6 ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO DEL PROYECTO

Se preparó un flujo de fondos financiero y económico para lo cual se calcularon los ingresos por concepto de ahorro por compra de LPG, la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento del sistema biodigestor. Posteriormente, con la ayuda de una hoja electrónica de Excel se calcularon los siguientes indicadores financieros:

- Valor Actual Neto (VAN): es la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial.
- Valor Actual Neto Económico (VANE): Es el VAN calculado eliminando los gastos administrativos, depreciaciones, intereses e impuestos.
- Tasa Interna de Retorno (TIR). Es la tasa de interés con la cual el VAN se iguala a cero. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.
- Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE). Es la TIR ajustada considerando el VANE.
- Período de Recuperación de la Inversión (PRI). Es el tiempo promedio en que la inversión inicial es recuperada con los beneficios obtenidos.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se utilizaron fuentes primarias y secundarias de información. Se practicó una encuesta a los locatarios del mercado así como entrevistas no estructuradas en la Gerencia de Orden Público y Gerencia de Residuos Sólidos de la Alcaldía Municipal del Distrito Central, Centro de Energía Renovable de Zamorano, UNILAB de Unitec y Aqualimpia.

3.4 EQUIPO Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

El Equipo y materiales utilizados en la investigación fueron:

Equipo

- Balanza romana con capacidad de 50 Kg
- Cámara fotográfica
- Palas, recogedores y escobas

Materiales

- Plástico de polietileno de 4 x 4 m.
- Bolsas plásticas transparentes de 20 Kg de capacidad
- Marcadores permanentes
- Botas de goma y guantes desechables de hule
- Formularios de Campo

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El Mercado Jacaleapa se encuentra ubicado en la periferia de la Colonia John F. Kennedy, una de las más populosas de Tegucigalpa; cuenta con 183 cubículos que actualmente se encuentran distribuidos en diferentes rubros que se detallan en la Tabla 10. Es importante destacar que aunque se trata de 183 cubículos, hay comercios que abarcan dos, tres y hasta cuatro espacios cada uno. La mayoría de locatarios paga una tarifa diaria a la Alcaldía Municipal que oscila entre L. 3.00 y 5.00. Se exceptúan de estas tarifas algunos locales como los puestos de comida, agropecuarias o cuartos fríos quienes pagan desde L. 30.00 hasta 165.00 por día. A la fecha los ingresos diarios a la Alcaldía Municipal por concepto de alquiler de locales es de L. 1,570.01 diarios que corresponden a L. 47,100.00 mensuales.

Tabla 10. Distribución de los locales comerciales por rubro en el Mercado Jacaleapa

Cantidad	Rubro	Cantidad	Rubro
24	Carnicerías	3	Cooperativa
19	Restaurantes	2	Salones de belleza
28	Misceláneas	3	Vidrierías y espejos
28	Frutas y Verduras	1	Imprenta
10	Abarrotería	1	Aceites y lubricantes
9	Granos	4	Hierbas y plantas
5	Lácteos	1	Ventas de ropa
2	Achinería	1	Fotocopias
1	Pescadería	3	Carwash
5	Venta de calzado	1	Llantera
5	Ventas de plásticos	1	Puesto piñatas
5	Repostería y refresquería	1	Bodega
3	Venta de pollo frito	1	Cuarto frío
2	Agropecuarias	1	Puesto de madera
4	Clínicas dentales	1	Puesto de carbón
3	Puestos varios	2	Puestos de víveres

Fuente: Archivos Administración del Mercado Jacaleapa

En la Fig. 8 y 9 se presenta una vista del exterior e interior del mercado en donde se puede apreciar que es un espacio comercial amplio y con una higiene interior relativamente buena a excepción del espacio externo posterior en donde se encuentra ubicado el recolector de los residuos sólidos.

De acuerdo a la información suministrada por el administrador del Mercado Jacaleapa, cada uno de los locales acumula sus residuos y una persona se encarga de recogerlos varias veces al día para depositarlos temporalmente en un contenedor de 15 m³ de capacidad que está ubicado en la parte posterior del mercado.



Figura 8. Vista exterior frontal y posterior del Mercado Jacaleapa, Tegucigalpa.



Figura 9. Vista interior de los locales del Mercado Jacaleapa, Tegucigalpa.

La totalidad de los residuos sólidos generados en el Mercado Jacaleapa es vaciado por el servicio de recolección de basura una vez por semana, por lo que durante la permanencia del mismo en los predios del mercado provoca malos olores y atrae la presencia de moscas, zancudos y aves de rapiña. No existe información específica sobre la cantidad y composición porcentual de los residuos totales (orgánicos y no orgánicos) que se producen en el mercado, sin embargo aún cuando dentro del alcance del presente estudio no se contempló tal medición, basados en el hecho de que el contenedor se llena en 7 días se presume que semanalmente se generan alrededor de 15,000 Kg de residuos sólidos totales que representan alrededor de 2.15 toneladas diarias o 780 toneladas anuales de residuos.

4.2 LOCALES GENERADORES DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA

Basado en la observación y en la opinión de los encuestados propietarios de los locales del mercado y tal como se muestra en la Tabla 11, se encontró que de acuerdo al rubro de los mismos un 34.55 y 32.73% de ellos generan plásticos y verduras + frutas, respectivamente. Sólo un 1.82% de los locatarios dispone los residuos de comida en el contenedor colectivo pues la mayoría los llevan a su casa para alimentar animales domésticos.

Tabla 11. Tipo de residuos sólidos generados según la opinión de los locatarios del Mercado Jacaleapa.

Tipo de residuo sólido	Frecuencia	Porcentaje
Desechos de comida	1	1.82
Verduras + Frutas	18	32.73
Plásticos	19	34.55
Papel y Cartón	6	10.91
Hueso	7	12.73
Cabello	1	1.82
No respondió	3	5.45
Total	55	100

Se identificó 17 locales generadores de RSO, que corresponden a 10 restaurantes y 7 locales de verduras y frutas. Se descartó de la medición las carnicerías (n=8 distribuidas en 23 locales) y ventas de pollo (n=2) debido a que el volumen y composición de los residuos son mayormente huesos que no pueden utilizarse para alimentar un biodigestor (Ver Anexo 4). Adicionalmente, se encontró que el 40% de los encuestados opinan que la cantidad de residuos generados es independiente del día de la semana, sin embargo un 21.82 y 18.18%, opinan que son los días lunes y sábado, respectivamente, en que se elimina la mayor cantidad de residuos (Anexo 5), por lo anterior se determinó medir la cantidad de residuos orgánicos durante 4 días consecutivos entre el miércoles 8 y el sábado 11 de febrero. Se exceptuó el día domingo pues los locales están abiertos hasta el medio día y la

cantidad de residuos es mínima y normalmente es desechado el lunes próximo, por lo cual se hizo una medición adicional el 13 de febrero de 2012.

4.3 CANTIDAD DE RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA

El volumen diario de RSO generados por los 17 locales oscila entre 160 a 284.5 Kg (Anexo 12), sin embargo en la Tabla 12, se muestran el volumen promedio diario generado por la totalidad de los locales, el cual asciende a 213.22 Kg de RSO al día, de los cuales el 40.85% es aportado por los locales de verduras y frutas (87.12 Kg RSO/día) y el 59.15% por los restaurantes (126.10 Kg RSO/día). Basados en los valores promedio diarios y sin contemplar variaciones según las estación del año, se estima que la proyección anual de RSO es de 66,524.64 Kg.

Tabla 12. Cantidad diaria y proyección anual de RSO generados en el Mercado Jacaleapa.

Rubro del local	RSO /día (Kg)	RSO / Año * (Kg)	Contribución al total (%)
Verduras y frutas	87.12	27,181.44	40.85
Restaurantes	126.10	39,343.20	59.15
Total Mercado (Kg/día)	213.22	66,524.64	100.00

* 312 días/año, se exceptúan los días domingos

4.4 COMPOSICIÓN DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA

De acuerdo a Sbarato (2009), la composición es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa basada en porcentajes por peso. Del estudio detallado de caracterización de los RSO generados, se encontró que estos se componen principalmente de hojas de vegetales frescos varios, en donde destacan las cáscaras de verduras y los residuos de comida de los restaurantes (39.06 y 21.42%, respectivamente), seguido de las hojas de repollo de los locales de verduras (13.97%). El porcentaje restante (25.55%) corresponde a hojas y residuos de verduras varias (Tabla 13 y Anexo 13).

Tabla 13. Composición detallada de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa.

Tipo de residuos	Porcentaje	
	Promedio	Acumulado
Hojas de repollo	13.97	13.97
Hojas de plátano (para tamales)	2.19	16.16
Hojas de remolacha	0.74	16.90
Hojas de cebolla	1.27	18.16
Cáscaras de yuca	4.80	22.96
Cáscaras de plátano	1.39	24.35
Cáscaras verduras varias	39.06	63.41
Hojas de vegetales varios	5.72	69.13
Vegetales y frutas enteras varias	9.45	78.58
Residuos de comida	21.42	100.00
Total	100.00	

Los RSO identificados fueron reagrupados en 4 categorías de subproductos similares y tal como se muestra en la Tabla 14, se observa que el 78.58% de los RSO están compuestos por vegetales y frutas enteras, hojas y cáscaras de vegetales varios. La diferencia restante (21.42%) corresponde a residuos o desperdicios de comida que se generan en los restaurantes.

Tabla 14. Composición según categoría de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa.

Tipo de residuos	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Hojas de vegetales varios	23.89	23.89
Cáscaras de vegetales varios	45.24	69.13
Vegetales y frutas enteras varias	9.45	78.58
Residuos de comida	21.42	100.00
Total	100.00	

4.5 VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO A PARTIR DE LOS RSO GENERADOS EN EL MERCADO JACALEAPA.

4.5.1 DISPONIBILIDAD DE RSO EN EL MERCADO JACALEAPA

Los RSO disponibles en el Mercado Jacaleapa están compuestos principalmente por desechos de verduras y residuos de comida. El valor de los RSO orgánicos calculados de 213.22 Kg se constituye como el volumen de Carga diaria (C_d) para alimentar el biodigestor. Según Moncayo (2012), la cantidad de residuos recolectada es crítica para el funcionamiento del biodigestor. Si la cantidad de residuos producidos diariamente es menor a la capacidad de diseño se reducirá el tiempo de retención disminuyendo la producción de biogás. Mediante, la determinación del volumen de RSO generados en el Mercado Jacaleapa se encontró que la cantidad de biomasa orgánica, aunque es baja, está disponible todos los días de la semana lo cual sugiere que lo ideal es utilizar un biodigestor de flujo continuo en cuyas características se basan las estimaciones de la cantidad de biogás que se puede generar.

4.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS RSO DEL MERCADO JACALEAPA

El porcentaje de masa seca y volátil son los parámetros que tienen mayor importancia en el dimensionamiento del biodigestor. La masa seca se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Este valor también se define como la materia seca total con la que se alimenta diariamente el biodigestor. El porcentaje de sólidos óptimos en la mezcla a digerir en el biodigestor debe ser del 10 al 15%. (Moncayo 2012).

Como se muestra en la Tabla 15 y Anexo 14, el porcentaje de Materia Seca o Sólidos Totales (MS ó ST) y la Materia Volátil o Sólidos Volátiles (MV ó SV) determinados en UNILAB para los RSO generados en el Mercado Jacaleapa son de 16.60 y 86.14%, respectivamente. La cantidad de RSO diaria disponible de 213.22 Kg de materia fresca expresados en peso seco muestra que la cantidad diaria real de materia sólida que se estaría introduciendo en el biodigestor es de 35.39 Kg ST/día ($213.22 \text{ Kg} \times 16.6\%$)

Tabla 15. Resumen de resultados de análisis de laboratorio de una muestra de RSO del Mercado Jacaleapa.

Identificación de la muestra	Composición de la muestra	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%)	%SV como % de ST
5459	Materia Orgánica: vegetales verdes (hojas, tallos, cáscaras)	16.60	14.30	86.14

Fuente: Laboratorio UNILAB. Universidad Tecnológica Centroamericana. 2012.

Estos valores son similares a los reportados por Moncayo (2012) en donde un análisis realizado en el laboratorio de diagnóstico nutricional del INIA de Chile a una muestra de vegetales verdes compuesta por hojas y tallos de apio, coliflor, cebolla, zanahoria y repollo, se determinó que el porcentaje de ST y SV es de 14.40 y 82.09%, respectivamente.

Para estimar la producción de biogás, además de los valores de C_d disponible, la MS y MV, debe considerarse el volumen total del biodigestor (volumen líquido y volumen gaseoso) y la temperatura ambiental del sitio de instalación, pues éstas tienen gran influencia en la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (THR) y la Carga Orgánica Volumétrica (COV). El TRH se determina en base a la temperatura de la biomasa y del medio ambiente. Para las condiciones tropicales de Tegucigalpa y un tipo de biodigestor de flujo continuo en función de la cantidad de biomasa generada, el TRH sugerido debe estar comprendido entre 15 y 45 días. Tomando en cuenta los factores anteriores y la composición de la biomasa se consideró un TRH de 30 días (volumen del biodigestor/volumen de carga diaria)

A partir de una C_d disponible de 213.22 Kg, un grado de dilución del 10% y un tiempo de retención de 30 días de acuerdo al tipo de RSO considerado y una temperatura ambiental promedio de Tegucigalpa de 24 grados centígrados, se determinó que la proporción de sólidos totales contenidos en la mezcla de carga diaria (MC_d) es de 353.95 litros. Asignando una campana de gas que suponga el 25% del volumen total, se obtuvo un volumen líquido (V_L) y gaseoso (V_g) de 10.62 y 3.54 m³,

respectivamente. El volumen total del biodigestor ($V_L + V_G$), se estimó en 14,160 litros o 14.16 m^3 (Tabla 16)

Tabla 16. Estimación del volumen del biodigestor para los RSO generados en el Mercado Jacaleapa

Descripción	Unidades	Valor
Carga diaria (C_d) (RSO generados/día)	Kg	213.22
Grado de dilución (G_d)	%	10%
Mezcla de Carga Diaria ($MC_d = (C_d * \%ST) / G_d$)	Litros	353.95
Temperatura Media del lugar	°C	24
Tiempo de Retención (V_L / MC_d)	días	30
Volumen Liquido del Biodigestor (V_L) (Carga diaria x tiempo de retención)	m^3	10.62
Volumen de Gas (V_G) (25% del Volumen total, $V_G = V_L / 3$)	m^3	3.54
Volumen Total (VT) ($V_L + V_G$)	m^3	14.16

La producción diaria de biogás depende directamente de la cantidad de sólidos volátiles que haya en la carga de RSO. Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales de los RSO que están sujetos a pasar a fase gaseosa. Como se puede observar en la Tabla 17, con base al valor de la C_d de 213.22 Kg con un porcentaje de ST de 16.60% y un porcentaje de MV de 86.14% y considerando un volumen liquido del biodigestor de 10.62 m^3 , el volumen de sólidos totales es de 3.33 kg por metro cúbico por día, por lo tanto el volumen de sólidos volátiles es de 2.87 Kg MV por m^3 por día.

Tabla 17. Producción de biogás a partir de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa

Descripción	Unidades	Valor mínimo	Valor máximo
Mezcla de Carga Diaria (Litros)	Litros	353.95	353.95
Porcentaje Sólidos Totales (%ST)	%	0.1660	0.1660
Sólidos Totales (ST) (Carga diaria x % Sólidos Totales / VL)	Kg ST/m ³	3.33	3.33
Porcentaje de Sólidos Volátiles (%SV ó MV)	%	0.8614	0.8614
Carga Orgánica Volumétrica ó Sólidos Volátiles (COV) (ST x % SV)	Kg MV/m ³	2.87	2.87
Factor mínimo de Producción de biogás (FP) (desechos de mercado: 400 m ³ /ton MV)	--	0.40	--
Factor máximo de Producción de biogás (FP) (desechos de mercado: 600 m ³ /ton MV)	--	--	0.60
Producción de Biogás al día (PB) (FP*SV)	m ³ / m ³ VL/día	1.15	1.72
Producción de Biogás por VL (PB x VL)	m³ / día	12.20	18.29

A partir de la COV es posible estimar la producción de biogás por día y para lo cual se consideró dos factores de producción, un mínimo de 0.40 y un máximo 0.60. Estos valores de producción se obtuvieron a partir de datos reportados por Moncayo (2012), en donde establece que los residuos de mercado con valores de ST y SV (5-20 y 80-90%, respectivamente), similares a los encontrados en el presente estudio, pueden generar alrededor de 400 a 600 m³ de biogás por tonelada de MV. Por lo tanto la cantidad de biogás que se puede producir a partir de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa oscilan entre 12.20 a 18.29 m³ de biogás por día. En promedio se producirían 15.24 m³ de biogás por día que representan 5,562.60 m³ por año. (Tabla 18)

Tabla 18. Proyección anual de producción de biogás en el Mercado Jacaleapa

Biogás producido		Biogás producido (m ³ /año)
Rango	(m ³ día)	
Mínimo	12.20	4,453.00
Promedio	15.24	5,562.60
Máximo	18.29	6,675.85

4.6 VALOR ENERGÉTICO DEL BIOGÁS E INGRESOS BRUTOS POR AHORRO DE ENERGÍA

Los datos de la encuesta aplicada reflejan que el 76.37% de los locales encuestados estarían dispuestos a separar los residuos orgánicos para aprovecharlos en la generación de gas para su propio consumo (Anexo 8), por lo cual una de las alternativas viables de aprovechamiento de los RSO generados en el Mercado Jacaleapa es la utilización de los 15.24 m³ diarios de biogás para suplir los requerimientos diarios de LPG de las estufas de los 10 restaurantes.

Actualmente en el Mercado Jacaleapa existen 10 restaurantes que utilizan estufas de kerosene o de gas LPG para la cocción de alimentos y de acuerdo a la encuesta aplicada se encontró que el 40% de ellos cocina durante 4 horas, mientras que el 60% restante cocinan 5 horas diarias (Anexo 11) y para lo cual consumen en promedio dos (2) cilindros de LPG de 25 libras por mes. Para comparar el valor monetario del LPG versus el biogás se expresó cada uno en BTU (British Thermal Units) según la tabla de conversión del Hydrogen Analysis Resource Center del Departamento de Energía de los Estados Unidos en la cual se establece que 1 cilindro de 25 libras de LPG en su valor superior de calor (HHV: Higher Heating Value) equivale a 539,039 BTU. Por otro lado Moncayo (2012) reporta que 1 m³ de biogás en promedio equivale a 22,000 BTU. (Tabla 19)

Tabla 19. Equivalencia en BTU del LPG consumido y el biogás producido en el Mercado Jacaleapa

	LPG	Biogás
Equivalencia en BTU por cilindro de 25 lb LPG	539,039	--
Equivalencia en BTU por lb LPG ó m ³ de Biogás	21,562	22,000
Consumo Mensual LPG / Producción Mensual Biogás	500 lbs.	463.55 m ³
Cantidad Anual de LPG consumido / Biogás producido	6,000 lbs.	5,562.60 m ³
Total BTU por año	129,372,000	122,377,200

De acuerdo a una revisión al histórico de precios del gas LPG publicados en el portal de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA: <http://www.sieca.int>), se encontró que el precio promedio del éste en el mes de marzo de 2000 y marzo de 2010 fue de US\$ 7.50 y US\$ 10.58, respectivamente, lo que refleja un aumento del 41.06% en un período de 10 años. Al comparar el aumento porcentual de precios de 2010 respecto al 2011, el incremento fue de 14.73% (US\$ 10,58 en marzo 2010 y US\$ 12.11 en enero 2011). Es un porcentaje muy alto para un período de un año si se compara con el aumento porcentual del período 2000-2010. Entre enero de 2011 y enero de 2012, hubo un incremento del 6.63% (US\$ 12.11 a 12.78).

Es evidente que el precio de LPG así como de otros derivados del petróleo presenta una alta variabilidad debido a los precios internacionales del crudo a nivel mundial que son afectados por factores geo-políticos y especulativos, por lo que la proyección de precios puede resultar complicada. No obstante lo anterior, a efectos de proyectar el ahorro bruto en concepto de compra de LPG se consideró el precio promedio al mes de enero de 2012, según la SIECA el cual es de L. 244.10 por cilindro de 25 libras.

Es importante destacar que el precio del LPG se tiene un subsidio de L. 10.92 (www.elheraldo.hn) por parte del gobierno de Honduras como una medida de compensación social por lo que el precio indicado no es el real de mercado. Basado en lo anterior, el porcentaje de incremento anual de precios considerado para

proyectar el precio del LPG a diez años fue de 6.63% anual. Como se muestra en la Tabla 20, la proyección anual de BTU que se pueden producir a partir del biogás generado, puede suplir el 94.59% de la demanda actual de BTU de LPG de los restaurantes del Mercado Jacaleapa, lo que representa un ahorro bruto anual de L. 55,416.52 y L. 98,753.82 para el primer y último año del proyecto, respectivamente.

Tabla 20. Ingreso por ahorro bruto en el consumo de LPG en el Mercado Jacaleapa

Descripción	Unidades	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Consumo Anual LPG	BTU/Año	129372,000	129372,000	129372,000	129372,000	129372,000
Costo LPG	L. /libra	9.76	10.41	11.10	11.84	12.62
Costo por BTU de LPG	L. /BTU	0.000453	0.000483	0.000515	0.000549	0.000585
Total Gasto Anual LPG	L. /Año	58,584.00	62,468.12	66,609.76	71,025.98	75,735.00
Proyección Anual Biogás	BTU/Año	122377,200	122377,200	122377,200	122377,200	122377,200
Total Ahorro con Biogás	L.	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21
	US\$	2,901.39	3,093.75	32,98.87	3,517.58	3,750.80

Descripción	Unidades	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Consumo Anual LPG	BTU/Año	129372,000	129372,000	129372,000	129372,000	129372,000
Costo LPG	L. /libra	13.46	14.35	15.30	16.32	17.40
Costo BTU de LPG	L. /BTU	0.000624	0.000666	0.000710	0.000757	0.000807
Total Gasto Anual LPG	L. /Año	80,756.24	86,110.37	91,819.49	97,907.12	104,398.37
Proyección Anual Biogás	BTU/Año	122377,200	122377,200	122377,200	122377,200	122377,200
Total Ahorro con Biogás	L.	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
	US\$	3,999.47	4,264.64	4,547.39	4,848.88	5,170.36

Finalmente, los datos de ingreso bruto por ahorro en compra de LPG por sustitución de biogás deben ser sometidos a un análisis económico en donde se considere el monto de la inversión inicial y los costos anuales de operación con el propósito de determinar si la implementación del biodigestor y aprovechamiento del biogás resulta rentable para que este sea adoptado por los locatarios que se beneficiarían con el mismo.

Por lo anteriormente expuesto, en el apartado VI de este documento, se presenta una propuesta de proyecto a nivel de pre-inversión denominado: **“Implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa”**, mismo que está estructurado como un plan independiente por tal razón contiene todos los elementos que considera la Cadena Analítica para la formulación de proyectos de inversión.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El volumen anual proyectado de residuos sólidos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa asciende a 66,524.64 Kg, mismos que están compuestos principalmente por vegetales y frutas enteras, hojas y cáscaras de vegetales varios (78.58%) y desperdicios de comida (21.42%).
- Basados en la cantidad de materia volátil producida a partir del volumen actual de residuos orgánicos generados en el mercado y considerando un biodigestor con un volumen total de 14.16 m³, un grado de dilución de 10% y un tiempo de retención de 30 días, se estima una producción anual de biogás de 5,562.60 m³.
- La proyección anual de BTU que se pueden producir a partir del biogás generado (122,377,200), puede suplir el 94.59% de la demanda actual de BTU de LPG de los restaurantes del Mercado Jacaleapa (129,372,000), lo que representa un ingreso por ahorro bruto anual de L. 55,416.52 en el primer año y un monto proyectado de L. 98,753.82 para el año diez.
- Por lo anteriormente es técnicamente factible implementar un biodigestor de flujo continuo en el Mercado Jacaleapa para aprovechar los residuos sólidos orgánicos generados en el mismo, sin embargo es necesario para este propósito, establecer el monto de la inversión y la rentabilidad del proyecto.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda confirmar la estimación de biogás calculada en el presente estudio a través de la simulación de la fermentación anaeróbica de los residuos orgánicos en un biodigestor de prueba en un laboratorio especializado, como el que instalará Aqualimpia en la Escuela Agrícola Panamericana de El Zamorano.

- Difundir los resultados del presente estudio para determinar el interés de la Alcaldía Municipal del Distrito Central u organizaciones no gubernamentales que podrían contribuir financieramente a la implementación de un biodigestor en el Mercado Jacaleapa como un proyecto piloto que permita generar un modelo adecuado que se pueda replicar en el resto de mercados de Tegucigalpa y de esta manera reducir la dependencia de combustibles a base de petróleo como el LPG y coadyuvar a la contribución de la reducción de la emisión de gases de invernadero.
- Existe una disposición de la mayoría de los locatarios del mercado Jacaleapa en separar los residuos orgánicos para su aprovechamiento en la producción de biogás, sin embargo la sostenibilidad de un proyecto de esta naturaleza debe incluir un componente legal y normativo que asegure el cumplimiento de clasificación de los residuos sólidos generados, por lo cual antes de implementar un sistema de biodigestores en un área urbana como los mercados municipales debe iniciarse un proceso de socialización de los beneficios del mismo.

CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD

IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL MERCADO JACALEAPA DE TEGUCIGALPA

ÍNDICE DE CONTENIDO

6.1 INTRODUCCIÓN	62
6.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	63
6.3 ESTUDIO DE MERCADO DEL PROYECTO	68
6.4 ESTUDIO TÉCNICO DEL PROYECTO	70
6.5 EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	83
6.6 EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL PROYECTO	89
6.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL	93
6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97

IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL MERCADO JACALEAPA DE TEGUCIGALPA

I. INTRODUCCIÓN

El alto costo de los combustibles derivados del petróleo aunado a la necesidad de reducir los gases de efecto invernadero sugiere la búsqueda de fuentes alternas que coadyuven a reducir la dependencia del uso de productos derivados del petróleo como el gas LPG, una de las principales fuentes de energía para la cocción de alimentos. Una de las alternativas que contribuyen a ese propósito es la producción de biogás a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. En el estudio “Producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa” se determinó que el volumen estimado de residuos sólidos orgánicos de 66,524.64 Kg/año pueden generar alrededor de 5,562.60 m³ de biogás/año equivalentes a 122,377,200 BTU anuales que pueden sustituir el 94.59% de la demanda actual de BTU de los restaurantes y que actualmente se suplen a partir de LPG.

Por lo anteriormente expuesto, a continuación se presenta un estudio de pre-inversión para la implementación de un biodigestor tubular de polietileno y de flujo continuo para producir biogás para uso en los restaurantes del Mercado Jacaleapa, mismo que se estructuró aplicando la metodología de la cadena analítica aplicada a la Generación y Evaluación de Proyectos y que se compone de seis secciones que corresponden a la identificación del proyecto, el análisis de mercado, el estudio técnico, la evaluación financiera, la evaluación socio-económica y la evaluación ambiental a fin de determinar la viabilidad del proyecto de inversión.

II. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1 NOMBRE DEL PROYECTO

Implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa.

2.2 PROPIETARIO, EJECUTOR Y OPERADOR DEL PROYECTO

La entidad propietaria y operadora del proyecto son los restaurantes organizados del Mercado Jacaleapa ubicado en la Colonia Kennedy, Tegucigalpa, D.C, Honduras. El ejecutor del proyecto es un consultor individual especialista en la instalación de biodigestores a contratar basado en la experiencia comprobada en proyectos similares.

2.3 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El Mercado Jacaleapa se encuentra ubicado en la periferia de la Colonia John F. Kennedy de Tegucigalpa. Cuenta con 183 espacios o cubículos que actualmente se encuentran distribuidos en diferentes rubros. De acuerdo a información suministrada por el administrador del Mercado Jacaleapa, cada uno de los locales acumula sus residuos y una persona se encarga de recogerlos varias veces al día para depositarlos temporalmente en un contenedor de 15 m³ de capacidad que está ubicado en la parte posterior del mercado. La totalidad de los residuos es vaciado por el servicio de recolección de basura una vez por semana, por lo que durante la permanencia del mismo provoca en el sitio malos olores, moscas, zancudos y aves de rapiña. No existe información específica sobre la cantidad y composición porcentual de los residuos que se producen en el mercado Jacaleapa, sin embargo basados en el hecho de que el contenedor se llena en 7 días se presume que semanalmente se generan alrededor de 15,000 Kg de residuos sólidos totales que representan alrededor de 2.15 toneladas diarias o 780 toneladas anuales de residuos.

2.4 ORIGEN DEL PROYECTO

El Proyecto “Implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa, nace como oportunidad para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa para la producción de biogás para consumo por parte de los propietarios de restaurantes del mismo y coadyuvar de esta manera reducir la dependencia en el consumo de combustibles derivados del petróleo, específicamente gas LPG.

2.5 RECURSOS DEL PROYECTO

Los recursos disponibles y necesarios para la implementación del proyecto se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Recursos disponibles y necesarios para el proyecto de inversión

Tipo	Disponibles	No disponibles y necesarios
Humanos	Mano de obra calificada y no calificada	
Materiales	Espació físico para la ubicación del biodigestor	Biodigestor y equipo accesorio
Tecnológicos	Servicios privados de consultoría en biodigestores	---
Institucionales	Alcaldía Municipal del Distrito Central Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) Secretaría de Agricultura	---
Financieros	---	Recursos para el financiamiento del proyecto de inversión y costos de operación
Legales	Marco legal que ampara este tipo de operación (Alcaldía Municipal y SERNA) Leyes de Incentivos	---

2.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir a reducir la dependencia en el consumo de combustibles de petróleo a través del uso del biogás producido a partir de la biodigestión de los residuos orgánicos generados en los mercados municipales.

2.6.2 OBJETIVO DE EJECUCIÓN

- Instalar un biodigestor de 14.16 m³ de capacidad para el aprovechamiento de los 66,524.64 Kg de residuos sólidos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa a un costo total de L. 96,766.35.

2.6.3 OBJETIVOS DE OPERACIÓN

- Recolectar 66,524.64 Kg anuales de residuos sólidos orgánicos en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa.
- Operar un biodigestor de 14.16 m³ de capacidad con un grado de dilución de 10% y un tiempo de retención de 30 días para producir 5,562.60 m³ de biogás al año.

2.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los mercados municipales de Tegucigalpa generan un alto volumen de residuos sólidos al día y que invariablemente aumentan como consecuencia del crecimiento de la población. Alrededor del 45-60% de los residuos sólidos generados corresponde a una biomasa orgánica cuya descomposición no controlada representa un problema de contaminación ambiental y cuyo valor energético es desaprovechado. El presente proyecto pretende contribuir al aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el mercado Jacaleapa de Tegucigalpa para la generación de biogás como fuente alterna de energía al gas LPG a través de la implementación de un biodigestor de flujo

continuo y consecuentemente coadyuvar a la reducción de la dependencia de la energía producida a base de derivados del petróleo cuyo costo se incrementa año con año afectando la economía del país en general. Adicionalmente colaborar en la disminución de la contaminación ambiental y el costo de disposición final de los residuos sólidos en los vertederos municipales.

2.8 CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto: “Implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa de Tegucigalpa, Honduras”, es un proyecto pionero y único en su clase en el país, con fines de lucro que se encuentra ubicado en el sector secundario de la economía pues corresponde al sector industrial. Este proyecto tiene como finalidad recuperar la fracción orgánica procedente de los residuos sólidos generados en el Mercado Jacaleapa para producir biogás. Los beneficiarios directos de esta actividad son los propietarios de restaurantes del mercado quienes utilizarán el biogás producido e indirectamente se reducirá la contaminación ambiental así como la creación de nuevas oportunidades de empleo.

2.9 ASPECTOS LEGALES DEL PROYECTO

Los propietarios de restaurantes del mercado no están organizados por lo que se sugiere la creación de una microempresa que a su vez requerirá la realización del trámite de licencias de operación, licencias ambientales, así como la aplicación de leyes que incentivan este tipo de proyectos. A continuación se describe el marco legal al que debe sujetarse el presente proyecto:

2.9.1 PERMISOS Y LICENCIAS

- Constitución legal de los locatarios beneficiarios en una microempresa.
- Se deberá de solicitar permisos de operación en la Alcaldía Municipal y en la Secretaria en el Despacho del Ambiente.

- Licencia de control ambiental de la Dirección General de Control y Evaluación Ambiental (DECA)

2.9.2 INCENTIVOS PARA EL PROYECTO

- Exención de impuestos durante 12 años prorrogables a partir del inicio de operaciones (impuesto sobre la renta, activo neto y demás conexos) amparado en lo indicado en el Artículo 9 del decreto legislativo no 144-2007, sobre la ley de biocombustibles, donde se estipula que los proyectos de inversión para la producción de biocombustibles quedan exentos de estos pagos, así como otra clase de impuestos y tasas estatales y derechos arancelarios.

III. ESTUDIO DE MERCADO DEL PROYECTO

Con el propósito de definir y cuantificar las variables que determinan la demanda del producto a generar por el proyecto se utilizó la información sobre generación y composición de residuos orgánicos, producción de biogás y demanda actual y precio del LPG actualmente usado en los restaurantes del Mercado Jacaleapa.

3.1 PRODUCTO

El producto del proyecto es el biogás producido a partir de los residuos orgánicos sólidos generados en el Mercado Jacaleapa.

3.2 DEMANDA

La cantidad de energía, expresada en términos de BTU provenientes del gas LPG, actualmente demandada por los 10 restaurantes del Mercado Jacaleapa es de 129,372,000 BTU/año equivalentes a 240 cilindros de 25 libras cada uno.

3.3 OFERTA

La oferta de biogás como reemplazo de LPG es de 122,377,200 BTU/año equivalentes a 5,562.60 m³ de biogás/año, el cual fue determinado a partir de la cantidad de residuos orgánicos actualmente generados en el Mercado Jacaleapa que es de 66,524.64 Kg/año.

3.4 PRECIO

Para la determinación del precio del biogás producido se hizo un análisis del histórico de precios del LPG en los últimos 10 años y en donde se encontró que un cilindro de 25 libras tiene un precio actual de mercado de L. 244.10. Para fijar el precio del biogás se convirtió el precio de LPG en L. /BTU (British Thermal Units) (1 lb LPG equivale a 21,562 BTU) y se determinó que 1 BTU producido a partir de LPG es de 0.000453 (L. 0.45/1000 BTU), por lo tanto el precio del biogás se estableció en el mismo monto.

3.5 COMERCIALIZACIÓN

Dentro de los aspectos considerados para la comercialización del producto se tomó en cuenta tres aspectos fundamentales: los canales de distribución y política de venta. A continuación se detalla cada uno de ellos.

3.5.1 CANALES DE DISTRIBUCIÓN DEL PRODUCTO

Los residuos sólidos orgánicos serán separados y recolectados por los propietarios de restaurantes y serán enviados a la parte posterior del mercado en donde se encuentra el biodigestor para su conversión a biogás que finalmente es aprovechado por los propietarios de restaurantes, por lo cual el canal de distribución es de tipo primario: *Generador de Residuos Sólidos Orgánicos (Mercado Jacaleapa, Colonia Kennedy) – Consumidor de Biogás (Propietarios de restaurantes de Mercado Jacaleapa).*

3.5.2 POLÍTICA DE ADQUISICIÓN DEL PRODUCTO

La cantidad de biogás será proporcionalmente distribuida entre los propietarios de restaurantes quienes son responsables de cubrir los costos de operación. La falta de pago en las fechas indicadas será sujeto de un cargo de 3% de interés moratorio sobre la deuda mensual. La falta de dos meses de pago sugiere la paralización del servicio de biogás.

3.6 MATERIA PRIMA

La materia prima del proyecto lo constituyen los 66,524.64 Kg/año de residuos sólidos orgánicos actualmente generados en el Mercado Jacaleapa.

IV. ESTUDIO TÉCNICO DEL PROYECTO

Con el propósito de determinar la función óptima de producción del proyecto, a continuación se describen las variables relacionadas con el tamaño y localización del proyecto, así como la tecnología, procesos, ingeniería del proyecto. Se incluye además dentro de este estudio el costo de la inversión inicial del proyecto pues la determinación de los mismos parte del fundamento eminentemente técnico.

4.1 TAMAÑO DEL PROYECTO

El tamaño del proyecto está determinado por la disponibilidad de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Jacaleapa, el cual es de 66,524.64 Kg/año. Las condicionantes que afectan el mismo son:

4.1.1 CAPITAL

Aún cuando los propietarios opinan que el proyecto sería muy positivo, no cuentan con los recursos necesarios para la inversión inicial, por lo que el presente documento se constituye como una herramienta para promover la obtención de donación del monto de la misma por parte de la Alcaldía Municipal del Distrito Central u otro organismo no gubernamental de financiamiento.

4.1.2 MANO DE OBRA

Para la operación y mantenimiento del biodigestor es necesaria la contratación de una persona de planta y los servicios profesionales de mantenimiento del biodigestor, en vista que los propietarios del mercado no podrían hacerlo por su cuenta debido a sus actividades de prestación diaria de servicios de alimentación. La cantidad y el perfil de la mano de obra requerida para el proyecto se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Cantidad y calificaciones requeridas para la mano de obra directa del proyecto

Descripción	Cantidad	Calificaciones mínimas	Funciones
Operador del biodigestor	1	Educación secundaria	Carga y descarga de residuos orgánicos en el biodigestor
Mantenimiento del biodigestor	1	Educación técnica en mecánica industrial	Supervisar mensualmente el funcionamiento adecuado del biodigestor y el suministro de biogás en los restaurantes

4.1.3 ESPACIO

Se requiere de un espacio mínimo de 150 metros cuadrados para la instalación del biodigestor y el almacenamiento temporal de los residuos orgánicos recolectados y para lo cual se ha identificado la parte posterior inmediata del Mercado Jacaleapa.

4.1.4 TECNOLOGÍA

Se requiere de un equipo mínimo para la operación del biodigestor y aprovechamiento del biogás por parte de los restaurantes que consiste de lo siguiente:

- Barriles plásticos para recolección de residuos orgánicos
- Una manguera de vinil
- Fuente de aprovisionamiento de agua
- Estufas de biogás de 2 quemadores

4.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en el Mercado Jacaleapa, entrada principal de la Colonia Kennedy al oriente de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

4.3 PROCESO

El flujo de procesos que inicia con la recolección de residuos orgánicos y finaliza con el suministro de biogás se detalla en la Fig. 10.

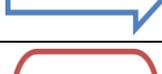
Duración	Operación	Descripción
		1. Inicio del Proceso
2 semanas		2. Capacitación de locatarios del mercado y operador del biodigestor
1 semana		3. Contratar y capacitar al operador de biodigestor
120 minutos		4. Recolectar los residuos orgánicos en los locales generadores
30 minutos		5. Traslado de residuos orgánicos a la parte posterior del mercado
120 minutos		6. Preparar y cargar los residuos orgánicos en el biodigestor
20 minutos		7. Inspección del flujo normal de biogás
Constante		8. Conducción del biogás hacia los restaurantes
		9. Fin del proceso

Figura 10. Flujo de procesos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el Mercado Jacaleapa

4.4 INGENIERÍA DE PROYECTOS

La ingeniería del proyecto está compuesta por los siguientes elementos: la selección del sitio y la instalación del sistema biodigestor y biogás.

4.4.1 INSTALACIONES

Uno de los aspectos más importantes en el funcionamiento de un biodigestor es la ubicación del mismo, en este sentido, se consideró varios factores como: cercanía a la fuente generadora de residuos, cercanía al área de uso del biogás, disponibilidad de la fuente de agua. El sitio más apropiado para la ubicación del biodigestor es la parte posterior del mercado, en vista que colinda con el área de restaurantes y facilitaría la conducción del biogás producido a los quemadores de estufas. En la Fig. 11, se muestra un plano simplificado de la distribución espacial del mercado y la ubicación del biodigestor respecto los restaurantes. Las flechas punteadas indican el flujo de los residuos orgánicos hacia el biodigestor y las verdes el sistema de conducción del biogás hacia los sitios de demanda.

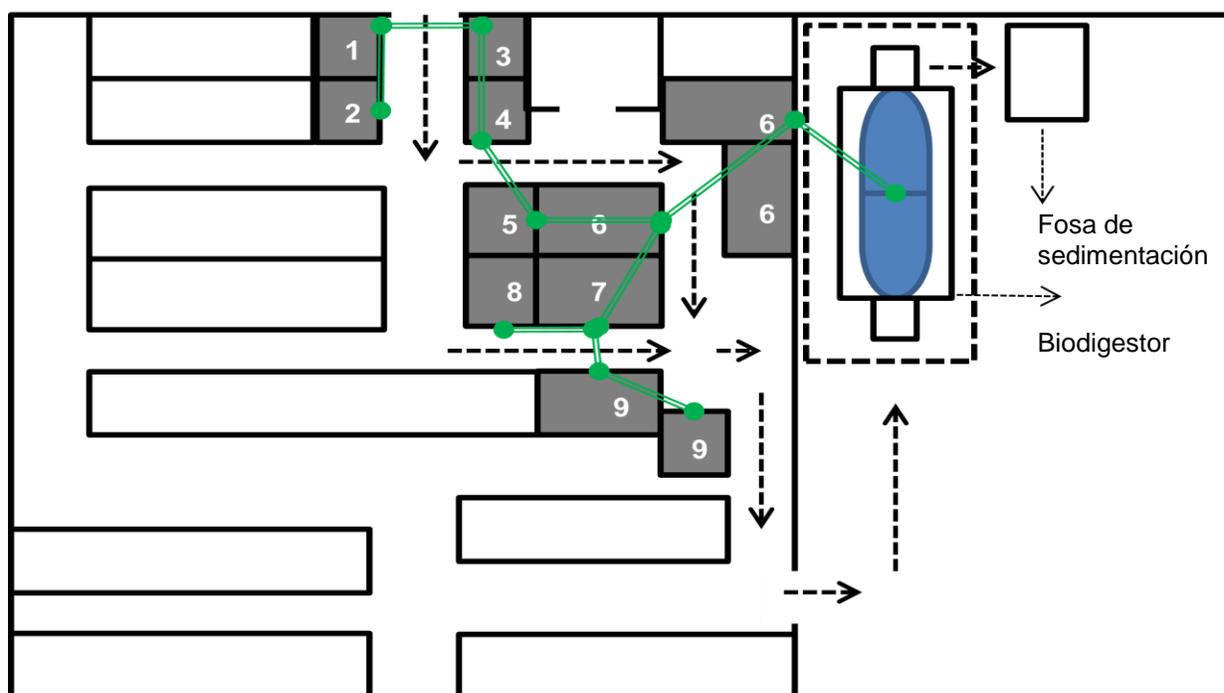


Figura 11. Plano simplificado del Mercado Jacaleapa y ubicación del biodigestor

4.4.2 PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

• DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

El volumen de biodigestor propuesto es de 14.16 m³, el cual cumple con la disponibilidad de RSO generados actualmente. El ancho de rollo adecuado que cumple con una relación entre la longitud y diámetro recomendada para este tipo de biodigestores de entre 5 y 10, es el que tiene un ancho de 2 m y una longitud de 11 m, pues la relación es de 8.60 y que mantenga una (Tabla 23)

Tabla 23. Determinación de las dimensiones de un biodigestor de polietileno de 14.16m³

Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección Eficaz (m ²) SE= ($\pi \times r^2$)	Longitud del biodigestor (Vt/SE) (m)	Relación Longitud/diámetro
1	0.32	0.64	0.32	44.01	68.76
1.25	0.4	0.8	0.50	28.17	35.21
1.5	0.48	0.96	0.72	19.56	20.37
1.75	0.56	1.12	0.99	14.37	12.83
2	0.64	1.28	1.29	11.00	8.60

• EXCAVACIÓN DE LA FOSA PARA ALOJAR EL BIODIGESTOR

La fosa es el espacio de terreno, generalmente en forma de trapecio, en donde se ubicará el tubo plástico del biodigestor y que sirve como aislante térmico y protección del mismo. Tomando en cuenta que se trata de un biodigestor de polietileno de 1.28 metros de diámetro y 11 metros de largo se requiere excavar una zanja de 13.69 m³ cuyas especificaciones se muestran en la Fig. 12. De acuerdo a Preston y Botero (1987), el ancho exterior de la fosa y la altura deben corresponder al 90% del diámetro de la bolsa y la base inferior debe tener un leve talud del 10%.

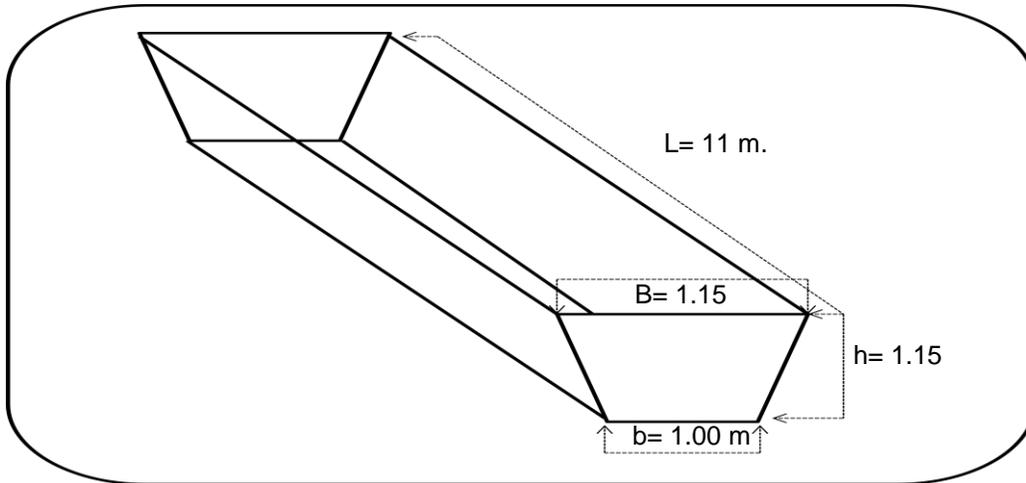


Figura 12. Dimensiones de la fosa para ubicar el biodigestor tubular de polietileno. Fuente: Preston y Botero, 1987.

Adicionalmente en ambos extremos de la fosa deben excavarse huecos oblicuos hasta el fondo de la fosa tal como se ilustra en la Fig. 13.

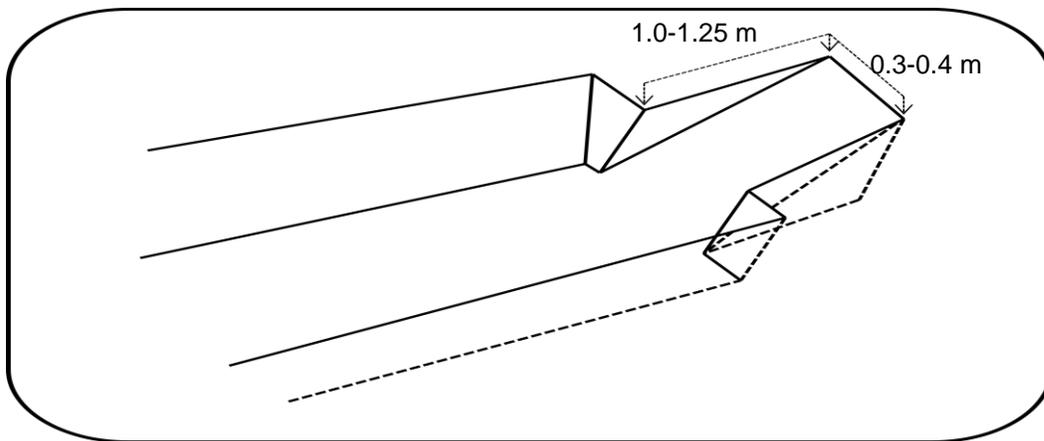


Figura 13. Esquema de excavación de terminales de la fosa. Fuente: Preston y Botero, 1987.

- **PREPARACIÓN DE LA BOLSA PARA EL BIODIGESTOR**

El tubular de 30 metros de polietileno se extiende sobre el piso y se dobla longitudinalmente a la mitad para proceder a cortarlo (dejando dos metros adicionales de plástico en cada uno de los extremos). Luego se introduce un tubular dentro del otro para convertirlo en un tubular doble de 15 metros de longitud.

- **COLOCACIÓN DE LA SALIDA DEL BIOGÁS**

Sobre la parte superior de la bolsa (a cuatro metros de uno de los extremos) se coloca un empaque de 20x20 cm para la salida del biogás y posteriormente se coloca la tubería para la salida del biogás tal como se detalla en la Fig. 14 y 15.

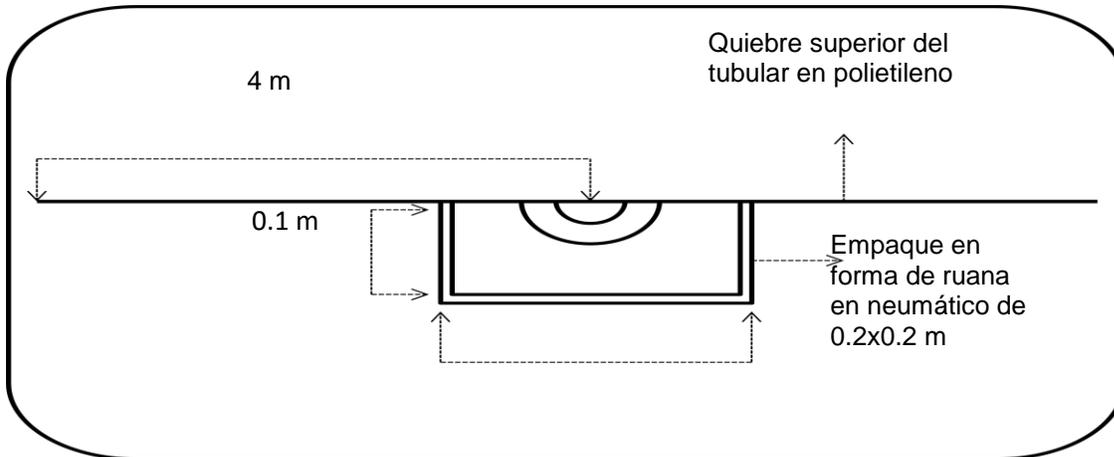


Figura 14. Detalle de la instalación de empaque para salida del biogás.
Fuente: Preston y Botero, 1987.

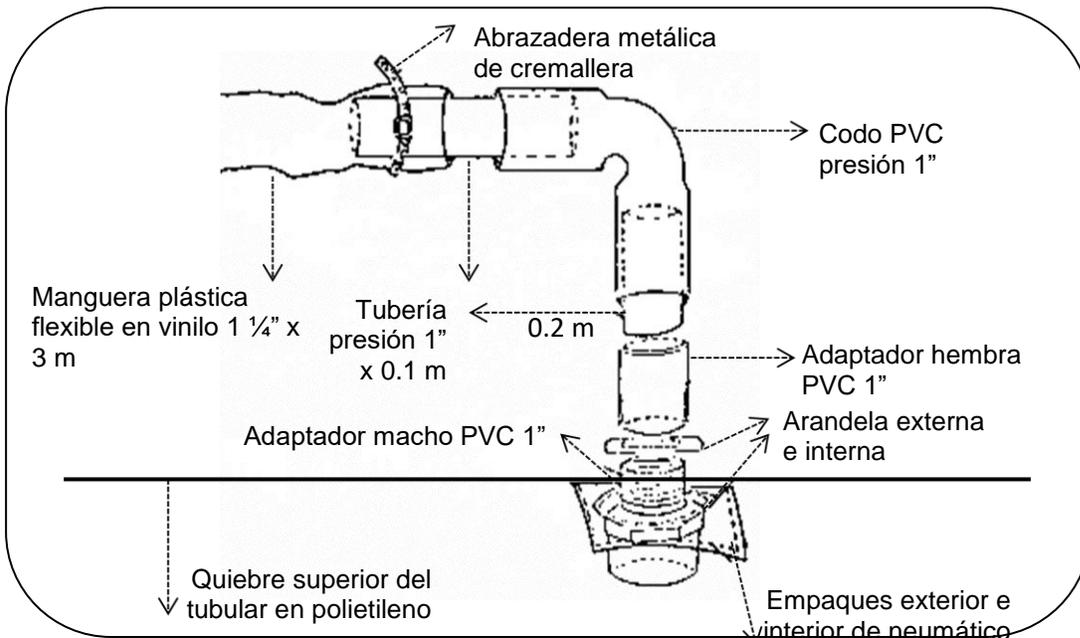


Figura 15. Detalle de la instalación de tubería de salida del biogás.
Fuente: Preston y Botero, 1987.

- **LLENADO DE AIRE DE LA BOLSA DEL BIODIGESTOR**

Se realiza el llenado de las bolsas con aire para detectar posibles orificios, luego se coloca la bolsa con sus terminales de tubo plástico dentro de la fosa, procurando que el extremo que cuenta con la tubería de salida del biogás quede cercano al sitio que demandan del abastecimiento (Fig. 16)

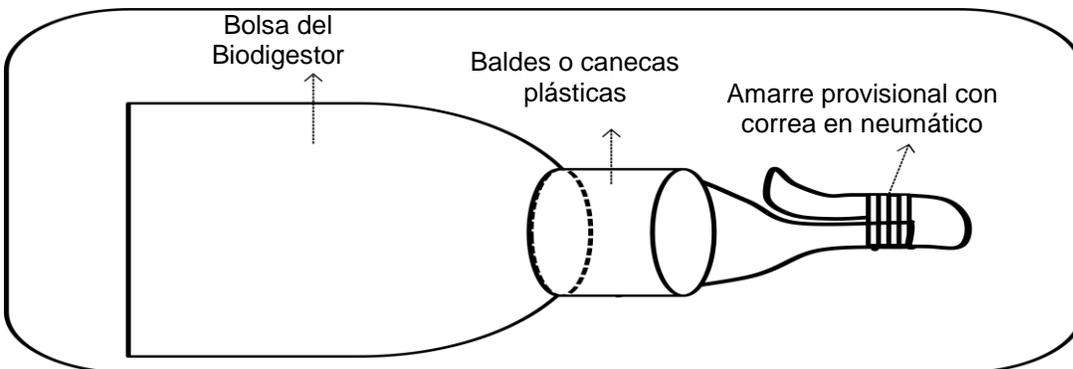


Figura 16. Vista lateral de llenado de aire de la bolsa de biodigestor.
Fuente: Preston y Botero, 1987.

- **COLOCACIÓN DE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD Y LLENADO DEL BIODIGESTOR**

Se coloca la válvula de seguridad o alivio en caso de excesiva acumulación de biogás dentro del biodigestor. Se efectúa el llenado con agua del 75% de la capacidad de la bolsa y se hace una eversión del extremo (Fig. 17)

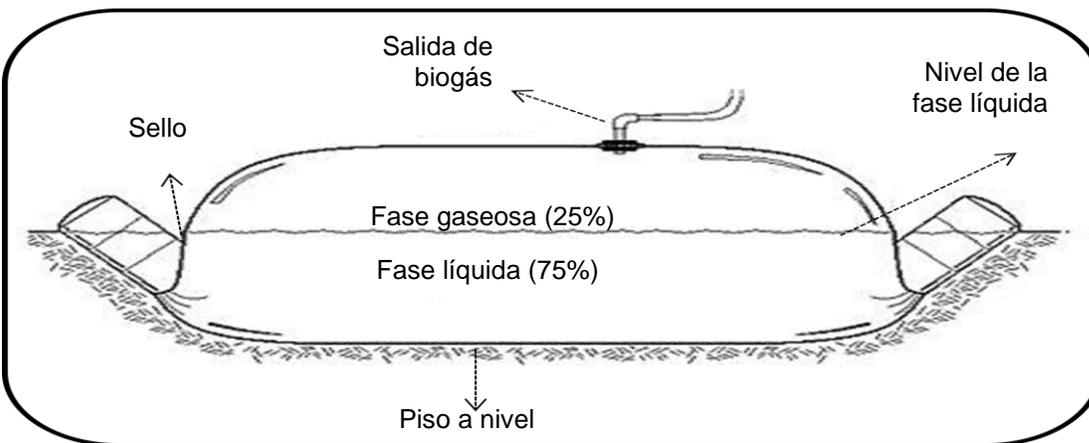


Figura 17. Esquema de llenado de líquido del biodigestor.
Fuente: Preston y Botero, 1987.

4.5 COSTOS DEL PROYECTO

Los costos del proyecto se detallan en costos de ejecución y de operación.

4.5.1 COSTOS DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Dentro de los costos de ejecución están los materiales, las obras de infraestructura y el equipo para la operación del biodigestor que se constituyen como la inversión inicial del proyecto. Los materiales necesarios se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24. Materiales para la construcción del biodigestor de polietileno

Concepto	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Plástico Tubular calibre 7, 30 m	Unidad	1	5,400.00	5,400.00	310.99
Baldes plásticos de 5 galones x 12"	Unidad	6	35.00	210.00	10.99
Manguera vinilo transparente 1 1/4"	Metros	3	165.01	495.03	25.92
Adaptador macho PVC de 1/2"	Unidad	1	2.40	2.40	0.13
Adaptador macho PVC 1"	Unidad	1	5.75	5.75	0.30
Adaptador hembra PVC 1"	Unidad	1	7.60	7.60	0.40
Te PVC 1"	Unidad	1	11.60	11.60	0.61
Reducciones lisas PVC 1/2"	Unidad	2	4.40	8.80	0.46
Codos 90 PVC 1"	Unidad	3	9.76	29.27	1.53
Tapón liso PVC 1"	Unidad	1	5.90	5.90	0.31
Tubo presión PVC 50 cm x 1/2"	Unidad	0.5	44.50	22.25	1.16
Niple de presión PVC 10cm x 1"	Unidad	6	44.50	266.99	13.98
Manguera de poliducto 1 1/4"	Yardas	15	19.10	286.44	15.00
Pegamento PVC	Unidad	2	39.20	78.40	4.10
Tubo galvanizado c/2 roscas 1/2"	Metros	0.5	20.15	10.08	0.53
Codo galvanizado 1/2"	Unidad	1	9.60	9.60	0.50
Niple galvanizado 10 cm x 1/2"	Unidad	1	9.45	9.45	0.49
Abrazadera metálica 1-1 1/2"	Unidad	4	13.85	55.42	2.90
Llave de paso de bronce 1/2"	Unidad	1	76.03	76.03	3.98
Arandelas de plástico 20 cm x 1"	Unidad	4	32.00	128.00	6.70
Arandelas de hule 20 cm x 1"	Unidad	4	13.85	55.42	2.90
Envase plástico transparente 1gln	Unidad	1	15.00	15.00	0.79
Sacos de polipropileno	Unidad	8	5.00	40.00	2.09
Sub total				7,229.41	378.50

Adicionalmente a los materiales, se consideró dentro de la inversión inicial el equipo básico que se requiere para la recolección, preparación de mezcla de residuos orgánicos que son parte de la operación del biodigestor, así como el equipamiento de los 10 restaurantes con una estufa de biogás de dos quemadores debido a que las utilizadas actualmente no son adecuadas para este propósito (Tabla 25)

Tabla 25. Equipo básico para la operación del biodigestor y aprovechamiento del biogás producido

Concepto	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Manguera de vinil	Unidad	1	1,000.00	1,000.00	52.36
Baldes plásticos de 5 galones	Unidad	4	35.00	140.00	7.33
Barriles de 55 galones	Unidad	4	500.00	2000.00	104.71
Estufas de Biogás de 2 quemadores	Unidad	10	1000.00	10000.00	523.56
			Sub total	13,140.00	687.96

En la Tabla 26, se muestran el costo de las obras de infraestructura que están relacionadas con la excavación de fosas y canales de entrada y salida del biodigestor, así como la construcción de una galera de madera y malla ciclón para la protección del sistema en general.

En vista que se trata de un biodigestor que será instalado en una zona urbana, es necesario la construcción de una fosa para recolectar los efluentes o bioabono pues dentro del alcance del proyecto no se contempla el aprovechamiento del mismo como fertilizante, que en otro contexto, por ejemplo el ámbito rural, se podría utilizar como fuente de fertilizante orgánico para los cultivos.

Tabla 26. Obras de infraestructura para la instalación del biodigestor

Concepto	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Limpieza del terreno	horas-hombre	16	25.00	400.00	20.94
Nivelado del terreno, excavado de fosas de biodigestor y efluentes	horas-maquina	16	312.50	5,000.00	261.78
Canales entrada y salida de biodigestor	horas-hombre	16	25.00	400.00	20.94
Recubrimiento de concreto de canales entrada/salida biodigestores	Obra	1	1,000.00	1,000.00	52.36
Recubrimiento de paredes de fosa biodigestor	Obra	1	3,000.00	3,000.00	157.07
Construcción fosa de efluentes	Obra	1	8,000.00	8,000.00	418.85
Galera de madera, zinc y malla ciclón	Obra	1	5,000.00	5,000.00	261.78
			Sub total	22,800.00	1,193.72

Con el propósito de garantizar la calidad y seguridad de la construcción e instalación del sistema completo, se consideró la contratación de un consultor de campo especialista en biodigestores. Los costos a incurrir en este ítem se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Mano de obra especializada para la construcción del biodigestor y sistema de conducción del biogás

Concepto	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Consultor / Instalación del biodigestor y tubería conducción biogás	Obra	1	40,000.00	40,000.00	2094.24
Ayudantes calificados	horas hombre	160	30.00	4,800.00	251.31
			Sub total	44,800.00	2,345.55

El monto de la inversión inicial para la implementación de un biodigestor de 14.16 m³ de capacidad y aprovechamiento del biogás producido es de L. 96,766.35. Este valor ya tiene incluido un 10% sobre la inversión para contingencias que pudieran presentarse en el proyecto (Tabla 28)

Tabla 28. Inversión total para la implementación de un biodigestor de 14.16 m³.

Concepto	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Materiales para construcción del biodigestor	7,229.41	378.50
Equipo básico de operación	13,140.00	687.96
Obras de infraestructura	22,800.00	1193.72
Mano de Obra especializada	44,800.00	2345.55
Contingentes (10% de la inversión)	8,796.94	460.57
Total	96,766.35	5,066.30

4.5.2 COSTOS DE OPERACIÓN DEL PROYECTO

Los costos de operación anual del proyecto se muestran en la Tabla 29, mismos que están compuestos por el monto del salario y beneficios de ley de una persona fija que operará el biodigestor y el monto por servicios profesionales de un técnico para dar mantenimiento al sistema una vez por mes o según se requiera. Será responsabilidad de los locatarios efectuar la separación de los residuos orgánicos así como su disposición de los mismos en el sitio de recolección destinado para tal fin.

Tabla 29. Costos de operación y mantenimiento del biodigestor y sistema de conducción del biogás

Concepto	Unidades	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (L.)	Valor Total (US\$)
Mano de Obra no calificada: operación diaria biodigestor	salario-mes	14	5,500.00	77,000.00	4,031.41
Mano de Obra calificada: por servicios profesionales	visitas	12	500.00	6,000.00	314.14
Total				83,000.00	4,345.55

Depreciación de los activos fijos

Se utilizó el método de línea recta para la depreciación de los activos fijos en vista que este es el estipulado en el sistema tributario de Honduras. La vida útil de un biodigestor de doble bolsa de polietileno es de 10 años así como algunas obras físicas asociadas a éste, a excepción de las estufas de biogás y algún equipo menor

que es de 5 años por lo que se depreció por separado. El valor residual de todos estos activos es cero pues debe reemplazarse completamente (Tabla 30 y 31)

Tabla 30. Depreciación en línea recta de obras físicas y biodigestor.

Depreciación a 10 años, valor residual=0	Valor (L.)
Recubrimiento de concreto de canales entrada/salida biodigestores	1,000.00
Recubrimiento de paredes de fosa biodigestor	3,000.00
Galera de madera, zinc y malla ciclón	5,000.00
Biodigestor y Accesorios	7,769.41
Total	16,769.41
Depreciación anual	1,676.94

Tabla 31. Depreciación en línea recta de estufas de biogás y equipo menor.

Depreciación a 5 años, valor residual=0	Valor (L.)
Estufas de Biogás	10,000.00
Equipo menor	3,140.00
Total	13,140.00
Depreciación anual	2,628.00

V. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

5.2 FUENTE DE FINANCIAMIENTO

La fuente de financiamiento del presente proyecto busca la donación de la inversión inicial por parte de la Alcaldía Municipal del Distrito Central u otro organismo no gubernamental. Los costos anuales de operación serán absorbidos por los beneficiarios del proyecto.

5.3 FLUJO DE FONDOS FINANCIERO DEL PROYECTO

Finalmente, para determinar la rentabilidad del proyecto se construyó un flujo de fondos financiero en donde se asume que la inversión inicial es una donación por parte de la Alcaldía Municipal del Distrito Central como un aporte a un proyecto pionero en su tipo que contribuiría a reducir los problemas de disposición final de residuos, por lo que no se considera el pago de capital e intereses por financiamiento. Los costos anuales de operación y la depreciación de los activos fijos serían asumidos por los locatarios de restaurantes como su aporte a la sostenibilidad del proyecto.

En el flujo se omiten además, los gastos administrativos pues el Mercado Jacaleapa ya cuenta con tres personas para tal efecto cuyos salarios son cubiertos por la Alcaldía municipal, la exención de impuestos durante 12 años prorrogables a partir del inicio de operaciones (impuesto sobre la renta, activo neto y demás conexos) amparado en lo indicado en el Artículo 9 del decreto legislativo no 144-2007, sobre la ley de biocombustibles, donde se estipula que los proyectos de inversión para la producción de biocombustibles quedan exentos de estos pagos, así como otra clase de impuestos y tasas estatales y derechos arancelarios.

Se consideró un valor de la inflación interanual de 5.4% reportada por el Banco Central de Honduras para el período 2011-2012 (www.bch.hn), para proyectar los incrementos anuales en los costos de operación del proyecto.

5.4 ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

Se utilizó la función Excel VNA y TIR para el cálculo del VAN de los flujos de efectivo utilizando una tasa de descuento del 12% y como se puede ver en la Tabla 32, los costos operativos por concepto de mano de obra repercuten negativamente en el flujo neto, mismos que son negativos para todos los 10 años.

El VAN calculado da como resultado un valor negativo (L. -289,253.77) lo que significa que la inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida y por lo tanto el proyecto debería rechazarse. No se muestra el cálculo de la TIR pues es improcedente debido a que el VAN es negativo.

5.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROYECTO

En vista que el proyecto de inversión resulta no rentable se plantean a continuación dos escenarios hipotéticos para determinar qué condiciones pueden hacer de éste un proyecto rentable. Los escenarios considerados que se muestran en la Tabla 33 y 34 se detallan a continuación:

5.5.1 ESCENARIO A: DISMINUCIÓN DE LOS COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN

Reduciendo los costos de operación basados en la asunción que el costo de la mano de obra fija y el mantenimiento del sistema del biodigestor sea absorbido en un 50% por la administración del Mercado Jacaleapa misma que depende de la Alcaldía Municipal. En este supuesto, el VAN refleja un número positivo de L. 34,816.78 con lo cual el proyecto si es rentable a la tasa de descuento del 12%. El nivel de rentabilidad expresado como la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 21%, misma que es mayor que el rendimiento obtenido con la tasa de interés pasiva del sistema financiero nacional.

En este escenario el período de recuperación de la inversión está comprendido entre el año 6 y año 7, en donde se obtiene un flujo neto acumulado de L. 93,679.51 y 118,236.81, respectivamente.

5.5.2 ESCENARIO B: AUMENTO DE LA CANTIDAD DE BIOGÁS PRODUCIDO

Si el volumen de residuos orgánicos se duplica, ello conlleva la necesidad de colocar dos biodigestores de 14.16 m³ cada uno, lo cual duplicaría el monto de la inversión inicial. Los costos de operación se mantendrían igual pues técnicamente es posible que con la misma mano de obra se opere y de mantenimiento al sistema. La cantidad de biogás se duplicaría y se sobrepasaría la demanda actual de gas por lo que implicaría utilizar el excedente para otros usos como generación de energía eléctrica lo que representaría un mayor ingreso.

El VAN y la TIR para este escenario es de L. 62,654.58 y 20%, respectivamente. El período de recuperación de la inversión en este escenario, está comprendió entre el año 6 y 7, en donde se tiene un flujo neto acumulado de L. 187,359.03 y 236,476.63, respectivamente. No obstante lo anterior, esta es una de las posibilidades menos probables que motiven la aceptación del proyecto pues el incremento en la cantidad de residuos generados supera las posibilidades actuales del mercado.

Tabla 32. Flujo de fondo financiero 2013-2023 para el proyecto: Implementación de un biodigestor para la producción de biogás en el Mercado Jacaleapa

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos										
Ingreso por Ahorro LPG *	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Valor Residual										0.00
Sub Total	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Egresos										
Inversión Inicial	96,766.35									
Costos de Operación **	83,000.00	87,482.00	92,206.03	97,185.15	102,433.15	107,964.54	113,794.63	119,939.54	126,416.27	133,242.75
Gastos por Depreciación: 5 años	2,628.00	2,628.00	2,628.00	2,628.00	2,628.00					
Gastos por Depreciación: 10 años	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94
Sub Total	184,071.29	91,786.94	96,510.97	101,490.09	106,738.09	109,641.48	115,471.57	121,616.48	128,093.21	134,919.69
Utilidad antes de Impuestos	-128,654.78	-32,696.31	-33,502.63	-34,304.30	-35,097.88	-33,251.52	-34,016.95	-34,761.42	-35,479.67	-36,165.87
Impuestos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad después de Impuestos	-128,654.78	-32,696.31	-33,502.63	-34,304.30	-35,097.88	-33,251.52	-34,016.95	-34,761.42	-35,479.67	-36,165.87
Depreciación	4,304.94	4,304.94	4,304.94	4,304.94	4,304.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94
Flujo Neto (L.)	-124,349.83	-28,391.37	-29,197.68	-29,999.36	-30,792.94	-31,574.58	-32,340.01	-33,084.48	-33,802.73	-34,488.93
Flujo Neto (US\$)	-6,510.46	-1,486.46	-1,528.67	-1,570.65	-1,612.20	-1,653.12	-1,693.19	-1,732.17	-1,769.78	-1,805.70

* Incremento 6.63 % anual por aumento en el costo del LPG

** Aumento 5.4% anual por inflación

VAN 12%	L. -289,253.77
----------------	-----------------------

Tabla 33. Flujo de fondo financiero 2013-2023. Escenario A: Disminución del 50% del monto de costos de operación

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos										
Ingreso por Ahorro LPG *	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Valor Residual										0.00
Sub Total	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Egresos										
Inversión Inicial	96,766.35									
Costos de Operación **	41,500.00	43,741.00	46,103.01	48,592.58	51,216.58	53,982.27	56,897.31	59,969.77	63,208.14	66,621.38
Gastos por Depreciación: 5 años	2,628.00	2,628.00	2,628.00	2,628.00	2,628.00					
Gastos por Depreciación: 10 años	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94
Sub Total	142,571.29	48,045.94	50,407.96	52,897.52	55,521.52	55,659.21	58,574.25	61,646.71	64,885.08	68,298.32
Utilidad antes de Impuestos	-87,154.78	11,044.69	12,600.39	14,288.28	16,118.70	20,730.75	22,880.36	25,208.35	27,728.47	40,132.14
Impuestos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad después de Impuestos	-87,154.78	11,044.69	12,600.39	14,288.28	16,118.70	20,730.75	22,880.36	25,208.35	27,728.47	40,132.14
Depreciación	4,304.94	4,304.94	4,304.94	4,304.94	4,304.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94	1,676.94
Flujo Neto (L.)	-82,849.83	15,349.63	16,905.33	18,593.22	20,423.64	22,407.69	24,557.30	26,885.29	29,405.41	41,809.08
Flujo Neto (US\$)	-4,337.69	803.65	885.10	973.47	1,069.30	1,173.18	1,285.72	1,407.61	1,539.55	2,188.96

* Incremento 6.63 % anual por aumento en el costo del LPG

** Aumento 5.4% anual por inflación

Recuperación de inversión	15,349.63	32,254.96	50,848.18	71,271.82	93,679.51	118,236.81	145,122.10	174,257.51	216,336.60
----------------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

VAN 12%	L. 34,816.78
TIR	21%

Tabla 34. Flujo de fondo financiero 2013-2023. Escenario B: Aumento del 100% en el volumen de residuos

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos										
Ingreso por Ahorro LPG *	110,833.04	118,181.27	126,016.69	134,371.59	143,280.43	152,779.92	162,909.23	173,710.11	185,227.09	197,507.65
Valor Residual										0.00
Sub Total	110,833.04	118,181.27	126,016.69	134,371.59	143,280.43	152,779.92	162,909.23	173,710.11	185,227.09	197,507.65
Egresos										
Inversión Inicial	193,532.71									
Costos de Operación **	83,000.00	87,482.00	92,206.03	97,185.15	102,433.15	107,964.54	113,794.63	119,939.54	126,416.27	133,242.75
Gastos por Depreciación: 5 años	5,256.00	5,256.00	5,256.00	5,256.00	5,256.00					
Gastos por Depreciación: 10 años	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88
Sub Total	285,142.59	96,091.88	100,815.91	105,795.04	111,043.03	111,318.42	117,148.51	123,293.42	129,770.15	136,596.63
Utilidad antes de Impuestos	-174,309.55	22,089.39	25,200.78	28,576.56	32,237.40	41,461.50	45,760.72	50,416.69	55,456.94	60,911.02
Impuestos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad después de Impuestos	-174,309.55	22,089.39	25,200.78	28,576.56	32,237.40	41,461.50	45,760.72	50,416.69	55,456.94	60,911.02
Depreciación	8,609.88	8,609.88	8,609.88	8,609.88	8,609.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88	3,353.88
Flujo Neto (L.)	-165,699.67	30,699.27	33,810.66	37,186.44	40,847.28	44,815.38	49,114.60	53,770.58	58,810.82	64,264.90
Flujo Neto (US\$)	-8,675.38	1,607.29	1,770.19	1,946.93	2,138.60	2,346.35	2,571.45	2,815.21	3,079.10	3,364.65

* Incremento 6.63 % anual por aumento en el costo del LPG ** Aumento 5.4% anual por inflación

Recuperación de inversión	30,699.27	64,509.93	101,696.37	142,543.65	187,359.03	236,473.63	290,244.21	349,055.03	413,319.93
----------------------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

VAN 12%	L. 62,654.58
TIR	20%

VI. EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL PROYECTO

Un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos debe considerar el impacto que tendrá el proyecto en la comunidad afectada por el mismo, en este caso los locatarios del Mercado Jacaleapa en su conjunto al implementar un proyecto de esta naturaleza estarán contribuyendo a la sociedad en su entorno.

6.1 COMPARACIÓN DE OBJETIVOS SECTORIALES VERSUS LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

Mediante la separación de los residuos orgánicos del resto de residuos sólidos generados en el Mercado Jacaleapa se contribuirá con la reducción de la dependencia en el consumo de LPG mismo que año con año se incrementa y no hay una garantía que el gobierno de Honduras mantendrá un subsidio al mismo. Así mismo se reduce la fuga de divisas en el pago de la factura petrolera del país.

6.2 ESTRUCTURA DEL FLUJO ECONÓMICO

El flujo de fondo socioeconómico del proyecto corresponde al flujo de fondo financiero ajustado, en el cual los ingresos aún se mantuvieron a precios de mercado y los egresos se han restado los valores correspondientes a los impuestos y las depreciaciones para determinar la contribución del proyecto a la sociedad. En vista que el proyecto resulta no rentable cuando los costos de operación son asumidos en su totalidad por los beneficiarios del proyecto, se consideró el flujo de fondos en donde se asume que la Alcaldía Municipal absorbe el 50% de los costos de operación (Escenario A). El detalle del mismo se presenta en la Tabla 35.

Tabla 35. Flujo de fondo económico 2013-2023. Escenario A: Disminución del 50% del monto de los costos de operación

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos										
Ingreso por Ahorro LPG *	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Valor Residual										0.00
Sub Total	55,416.52	59,090.63	63,008.34	67,185.80	71,640.21	76,389.96	81,454.62	86,855.06	92,613.55	98,753.82
Egresos										
Inversión Inicial	96,766.35									
Costos de Operación **	41,500.00	43,741.00	46,103.01	48,592.58	51,216.58	53,982.27	56,897.31	59,969.77	63,208.14	66,621.38
Gastos por Depreciación: 5 años	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
--Gastos por Depreciación: 10 años	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sub Total	138,266.35	43,741.00	46,103.01	48,592.58	51,216.58	53,982.27	56,897.31	59,969.77	63,208.14	66,621.38
Utilidad antes de Impuestos	-82,849.83	15,349.63	16,905.33	18,593.22	20,423.64	22,407.69	24,557.30	26,885.29	29,405.41	41,809.08
Impuestos	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Utilidad después de Impuestos	-82,849.83	15,349.63	16,905.33	18,593.22	20,423.64	22,407.69	24,557.30	26,885.29	29,405.41	41,809.08
Depreciación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Flujo Neto (L.)	-82,849.83	15,349.63	16,905.33	18,593.22	20,423.64	22,407.69	24,557.30	26,885.29	29,405.41	41,809.08
Flujo Neto (US\$)	-4,337.69	803.65	885.10	973.47	1,069.30	1,173.18	1,285.72	1,407.61	1,539.55	2,188.96

* Incremento 6.63 % anual por aumento en el costo del LPG

** Aumento 5.4% anual por inflación

VANE 12%	L. 34,816.78
TIRE	21%

6.3 INDICADORES Y ANÁLISIS DEL FLUJO ECONÓMICO DEL PROYECTO

Como se puede apreciar en la Tabla 35, el flujo económico para el proyecto en donde se considera una reducción del 50% de los costos de operación, al hacer el cálculo del VANE (Valor Agregado Neto Económico) y TIRE (Tasa Interna de Retorno Económica) estos son de L. 34,816.78 y 21%, respectivamente. Estos valores corresponden a los mismos encontrados en el Flujo de fondo financiero pues este tipo de proyecto está exento del pago de impuestos.

6.4 INCORPORACIÓN DE EXTERNALIDADES

Dentro de los efectos positivos indirectos que genera el proyecto en el contexto de su ubicación y radio de acción se consideran los siguientes:

- Tomando en cuenta que semanalmente se evacuan alrededor de 2.15 toneladas de residuos sólidos totales, con la utilización de los residuos sólidos orgánicos que representan alrededor de 1.15 toneladas (213.2 Kg diarios), se estima una reducción del 53.48% del volumen total de residuos que se disponen en el contenedor de almacenamiento temporal con lo cual se reduce la cantidad de desechos que se vierten en el botadero municipal.
- Basado en lo anterior, la cantidad de residuos a recolectar en el mercado es menor por lo tanto se disminuye el costo de recolección y traslado de desechos sólidos para la Alcaldía Municipal.
- Reducción de malos olores, moscas y aves de rapiña en el sitio el cual es un foco de contaminación ambiental que afecta la salud de los habitantes en el entorno.

6.5 VALOR AGREGADO

El valor monetario anual adicional directo que el proyecto de inversión generará una vez posicionado en el entorno asciende a L. 83,000.00. Este importe es consecuencia de los sueldos y salarios a pagar y cuyo valor detallado se puede observar en la Tabla 36.

Tabla 36. Cálculo del valor agregado del proyecto

Rubro	Valor Mensual (L.)	Valor Anual (L.)
Operador del Biodigestor	5,500.00	77,000.00
Servicios profesionales de mantenimiento	500.00	6000.00
Total Sueldos y Salarios	6,000.00	83,000.00
Ingreso Anual		83,000.00
Impuestos 12%		0.00
Intereses		0.00
Valor Agregado		83,000.00

VII. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El objetivo de la evaluación ambiental es determinar el impacto que pueden ocasionar las diferentes actividades del proyecto en su entorno, el grado de afectación que puede tener sobre el mismo, y las medidas de mitigación y monitoreo que se pueden realizar.

1. ACTIVIDADES DEL PROYECTO QUE PUEDEN CAUSAR IMPACTOS EN EL AMBIENTE

Las actividades del proyecto que potencialmente pueden causar un impacto negativo en el ambiente son:

- Cambio de hábitos en el manejo de residuos sólidos.
- Riesgo de explosión por fugas de biogás en el biodigestor o en el sistema de abastecimiento.
- Contaminación de la quebrada adyacente al mercado con efluentes del biodigestor.

2. FACTORES DEL ENTORNO SUSCEPTIBLES A SER IMPACTADOS O CAMBIADOS

Los factores del entorno del proyecto que son sujetos de ser impactados como consecuencia del proyecto son:

- Paisaje
- Aire
- Cultura
- Suelo
- Flora
- Seres humanos y fauna
- Ruido

3. IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO

Los efectos de la implementación del proyecto desde el punto de vista ambiental son positivos en vista que el espíritu del mismo es coadyuvar a la conservación del mismo a través de la generación de energía limpia y con ello reduciendo los gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental que los residuos orgánicos ocasionan, no obstante lo anterior tomando en consideración los efectos negativos identificados en contraste con los elementos del ambiente susceptibles de ser afectados, tal como se muestra en la Tabla 37, hay 4 impactos a considerar.

Tabla 37. Matriz de impactos ambientales del proyecto

Categoría	Hábitos en manejo de residuos	Explosiones por fugas	Contaminación con efluentes
Paisaje			a
Aire		A	
Suelo			a
Flora			
Humanos / Fauna		A	
Cultura	a		
Ruido			

Categorías del impacto: A: Adversos significativos, a: Adversos poco significativos, B: Beneficio significativo, b: Beneficio poco significativo

• Modificación en los hábitos de los beneficiarios en el manejo de residuos

Uno de los aspectos importantes que conlleva la implementación del biodigestor en el Mercado Jacaleapa es la actitud y el grado de conciencia de los beneficiarios y locatarios en general en relación a este tipo de proyectos que sugieren un cambio en los hábitos y patrones de comportamiento. De acuerdo a la encuesta aplicada en la investigación “Producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos en el Mercado Jacaleapa” se encontró que el 100% de los encuestados le parece buena idea la instalación del biodigestor así como la separación de los residuos orgánicos del

resto. El impacto es altamente positivo desde el punto de vista de un cambio de hábito, sin embargo cuando se trata de proponer cambios en los mismos genera un cierto grado de aversión; se pudo observar que en la práctica, durante el proceso de determinación de los volúmenes de generación de residuos en el mismo estudio, que para los propietarios de los restaurantes la actividad de clasificación de residuos, entorpece sus actividades diarias.

•Efecto de una explosiones por fugas de biogás sobre el aire y la fauna

Una fuga de biogás provocada por daños provocados por humanos, animales o por defectos en el polietileno del biodigestor o por fallas en la construcción del mismo puede provocar contaminación del aire, pues se estará liberando el gas metano y el dióxido de carbono. El primero por las características del mismo tiende a subir en el aire y consecuentemente contribuye a aumentar los niveles de gases de efecto invernadero. Adicionalmente la mezcla del gas metano con el aire puede provocar explosiones que se desencadenan en incendios que pueden dañar la infraestructura del mercado y/o atentar contra la vida de los habitantes del mismo.

•El mal manejo de efluentes del biodigestor puede contaminar la quebrada adyacente al mercado

En vista que se trata de un biodigestor a instalarse en una zona urbana, el proyecto no incluye la utilización de los efluentes como fuente de fertilizantes para los cultivos y en su defecto se consideró dentro de las obras de infraestructura la construcción de una fosa subterránea para la sedimentación de los mismos y evitar así los problemas de disposición final de los mismos.

El mal manejo de la fosa puede dar lugar a que ésta colapse y se produzca la escorrentía de los mismos a la quebrada que se encuentra adyacente al mercado contribuyendo a la acumulación de sedimentos en la misma y que consecuentemente en época de lluvia puede contribuir a provocar inundaciones.

4. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Con el propósito de mitigar el impacto de los impactos del proyecto, se propone las siguientes medidas:

- **Cultura:**

- Capacitación y concientización de los beneficiarios y de los locatarios del mercado en general sobre formas prácticas de clasificar la basura como uso de recipientes separados debidamente rotulados.

- **Aire:**

- Asegurarse del correcto funcionamiento de la válvula de seguridad del biodigestor y la calidad y correcta instalación del sistema de suministro de biogás.
- Proporcionar extintores en cada uno de los restaurantes en donde se aprovecha el biogás.

- **Suelo**

- Revisión periódica del nivel de la fosa de efluente.
- Vaciado de la fosa de efluentes cuando esta alcance el 80% de su capacidad.

5. MONITOREO

El presente proyecto contempla dentro de sus costos de operación la revisión mensual del correcto funcionamiento del biodigestor y de la revisión de los mecanismos de seguridad desde el punto de generación de biogás hasta el sitio de utilización del mismo, por parte de un técnico especialista a fin de prevenir algún tipo de eventualidad negativa.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Aún cuando la cantidad de biogás producido a partir de los residuos orgánicos generados puede suplir el 94.59% de la demanda de gas de los restaurantes del Mercado Jacaleapa, la operación del biodigestor representa un alto costo que hace que el valor agregado neto (VAN) sea negativo (L.-289,253.77) y consecuentemente el proyecto no es rentable.
- Un análisis de sensibilidad basado en las asunciones en que se disminuye el 50% de los costos de operación o se aumenta el 100% en la cantidad de biogás producido, vuelven el proyecto rentable. El VAN y TIR calculado para el primer escenario son de L. 34,816.78 y 21%, respectivamente, mientras que el VAN y TIR para el segundo escenario son de L. 62,654.58 / 20%, respectivamente.
- Las externalidades del proyecto son muy importantes pues contribuye significativamente a la reducción de la contaminación ambiental mediante la disminución de los gases de efecto invernadero, además que se coadyuva en atenuar los costos de disposición final de los residuos orgánicos generados.

8.2 RECOMENDACIONES

- A fin de implementar el biodigestor en el Mercado Jacaleapa, se recomienda a los beneficiarios del proyecto efectuar las gestiones correspondientes para conseguir el apoyo de la Alcaldía Municipal del Distrito Central para que además de la donación del monto de la inversión inicial de L. 96,766.35, se incluya el aporte del 50% de los costos de operación (L. 41,500.00) dentro de la planilla sueldos y salarios del mercado a su cargo, como un aporte del gobierno local al estímulo por la generación de energía limpia y contribución a la reducción de los gases de efecto invernadero que producen los residuos orgánicos que no se aprovechan.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, V et al. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 15, No.1, 2011, 37-45.
2. Agraconsa, (2010). Proyecto de Biodigestor en el Negrito, Yoro: Estudio de Factibilidad. AEA: Alianza en Energía y Ambiente de Centroamérica. 55 p.
3. Aliaga, L. (2006). Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana. 50 p.
4. Arroyave, M.; Vahos, D. (1999). Evaluación del proceso de compostaje producido en un tanque bio reactor piloto por medio de biofermentación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 83 p.
5. Bendaña, G. (2004). Energía para un desarrollo Rural Sostenible. Managua: UCA.
6. Botero, R.; Preston, T. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación y utilización. Colombia. 20 p.
7. Campos, A. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Tesis Doctoral. Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Dpto. de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo de la Universidad de Lérida. 394 p.
8. Cardona, C; Sánchez, O; Ramírez, J; Alzate, L. (2004). Biodegradación de residuos de plazas de mercado. Revista Colombiana de Biotecnología. Vol VI. No. 2. Diciembre 2004. P. 78-89.

9. Espinoza, X.; Rubio, X. (2007). Estudio de Factibilidad sobre la construcción de Biodigestores en la comunidad de Tomalá en la Montaña del Merendón, San Pedro Sula. 46 p.
10. Expósito, G. (2004). Modelización de procesos biológicos para la eliminación de residuos ganaderos, teniendo en cuenta sus condicionantes especiales. Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Madrid: s.n., 352 p.
11. Flores, D. (2001). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Guía Práctica No.2. Marzo 2001; pag 8-12.
12. Gil, G. (2008). Energías del siglo XXI: de las energías fósiles a las alternativas. (en línea) España: Mundi-Prensa, 353 p. Disponible en <http://site.ebrary.com/lib/bvunitecvirtualsp/Doc?id=10268752&ppg=354>
13. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI. (1983). *Primer seminario de Biogás*. San Salvador : ROCAP.
14. IICA. (2009). Estudios agrícolas, ganaderos forestales, comerciales. [En línea] [Citado el: 12 de Marzo de 2009.] Disponible en www.iica.int.ni/Library/Free_Download.htm.
15. Martí, J. (2008). Guía de diseño y Manual de instalación de biodigestores familiares. GTZ Proagro. Bolivia. 74 p.
16. Meadows, D; Meadows, D; Randers, J; Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's Project on the predicament of mankind*. Universe Books. New York. 205 p.
17. Medina, Z; Luna J. (2009). Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino de la Unidad de ganado lechero de Zamorano, Honduras. Tesis Lic. Ing. Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana. 35 p.

18. Moncayo, G. (2012). Biodigestores: Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Edic. Aqualimpia Beratende Ingenieure. 692 p.
19. Rivas, O; Faith, M; Guillén, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha*, Vol. 23, N.º 1, Enero-Marzo 2010, P. 39-46.
20. Salamanca, J. (2009). Diseño, Construcción y Puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para generar biogás y fertilizante Orgánico. Tesis de grado Ing. Química. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 131 p.
21. Sbarato, D. (2009). Aspectos generales de la problemática de los residuos sólidos urbanos. (en línea) Editorial Brujas, Argentina. P 28. Disponible en <http://site.ebrary.com/lib/bvunitecvirtualsp/Doc?id=10444882&ppg=29>
22. Sosa, R.; Río, J. Del; Chao, R. (1998). Una nota sobre la construcción y uso de biodigestores tubulares de polietileno. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 5(2). 4 p.
23. UNFCCC. (2012, Marzo 02). *www.unfccc.int*. Retrieved Marzo 2, 2012, from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
24. Vallejo, W. (2008). Estudio de viabilidad para el aprovechamiento del biogás producido en el sitio de disposición final de Navarro, bajo los mecanismos establecidos en el protocolo de Kioto 2008. Universidad Santiago de Cali. Santiago de Cali. 125 p.

ANEXOS

ANEXO 1

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MERCADO JACALEAPA

Objetivo de la Encuesta: Conocer el manejo actual de los residuos generados en el mercado Jacaleapa y medir la disponibilidad de los locatarios para separar los residuos orgánicos para instalar un biodigestor para la producción de biogás.

Local No. _____ Rubro del Negocio: _____

PARA TODOS LOS LOCATARIOS

Favor responda a las siguientes preguntas:

1. Qué tipo de residuo se genera en mayor cantidad en su local Desechos de Comida ___ Frutas y vegetales ___ Plásticos ___ Vidrios ___ Aluminios ___ Papel y Cartón___
2. ¿Qué día de la semana se generan más residuos en su local? _____
3. ¿Con qué frecuencia elimina los residuos de su local?
1 día ___ 2 días ___ 3 días ___ Otro: cual ___
4. ¿Paga por eliminar los residuos de su local?, si es afirmativo, cuánto?
Si _____ No _____ Cuánto? _____

Explicación previa: Sabía Usted que los residuos orgánicos pueden ser utilizados para colocarlos en un tanque hermético llamado biodigestor para que se descompongan y luego de un tiempo comiencen a generar un gas conocido como biogás y que puede ser usado como energía para las estufas, lámparas eléctricas, entre otros. En base a lo anterior responda las siguientes preguntas:

5. ¿Estaría dispuesto a separar los residuos orgánicos que se generan en su local?
Si _____ No _____
6. ¿Estaría de acuerdo en que se instale un biodigestor para producir energía para usarla en el mercado?
Si _____ No _____

SOLO PARA LOCATARIOS PROPIETARIOS DE RESTAURANTES

7. ¿Con que tipo de estufa cocina los alimentos en su local?
Gas LPG (propano/butano) ___ Electricidad ___ Kerosene___ Otro _____
8. Cuántas horas al día cocina alimentos? 2___ 3___ 4 ___ 5 ___ Otra: indique cuánto _____

Gracias por su colaboración

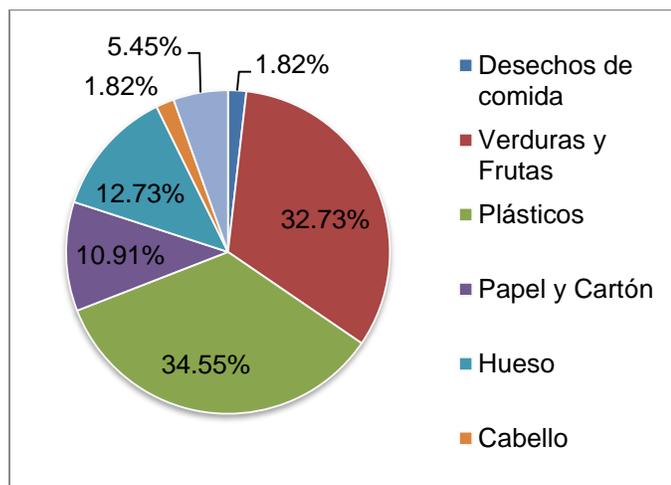
ANEXO 4

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 1: ¿Qué tipo de residuo se genera en mayor cantidad en su local?										
No.	Rubro	Desecho comida	Verduras y frutas	Plástico	Aluminio	Papel y Cartón	Hueso	Cabello	No respondió	Total
1	Plásticos			1						
2	Misceláneas			1						
3	Abarrotería			1						
4	Abarrotería			1						
5	Variedades			1						
6	Cooperativa					1				
7	Abarrotería					1				
8	?								1	
9	Abarrotería			1						
10	Misceláneas			1						
11	Sala belleza							1		
12	Variedades			1						
13	Variedades			1						
14	Variedades					1				
15	Zapatería			1						
16	Dentista					1				
17	Variedades					1				
18	Abarrotería			1						
19	Verduras		1							
20	Verduras		1							
21	Verduras		1							
22	Verduras		1							
23	Verduras		1							
24	Verduras		1							
25	Plásticos			1						
26	Especies		1							
27	Verduras		1							
28	Refrescos		1							
29	Misceláneas			1						
30	Venta pollo	1								
31	Lácteos			1						
32	Mariscos			1						
33	Carnicería						1			
34	Lácteos			1						

35	Carnicería						1			
36	Carnicería						1			
37	Carnicería								1	
38	Carnicería						1			
39	Verduras		1							
40	Carnicería						1			
41	Restaurante		1							
42	Restaurante		1							
43	Restaurante		1							
44	Restaurante		1							
45	141-149			1						
46	Restaurante		1							
47	150								1	
48	Carnicería						1			
49	154-155					1				
50	Venta pollo			1						
51	Restaurante		1							
52	Restaurante		1							
53	Restaurante		1							
54	Variedades			1						
55	Carnicería						1			
Frecuencia		1	18	19	0	6	7	1	3	55

Tipo de Residuo Sólido	Frecuencia	Porcentaje
Desechos de comida	1	1.82
Verduras y Frutas	18	32.73
Plásticos	19	34.55
Papel y Cartón	6	10.91
Hueso	7	12.73
Cabello	1	1.82
No respondió	3	5.45
Total	55	100



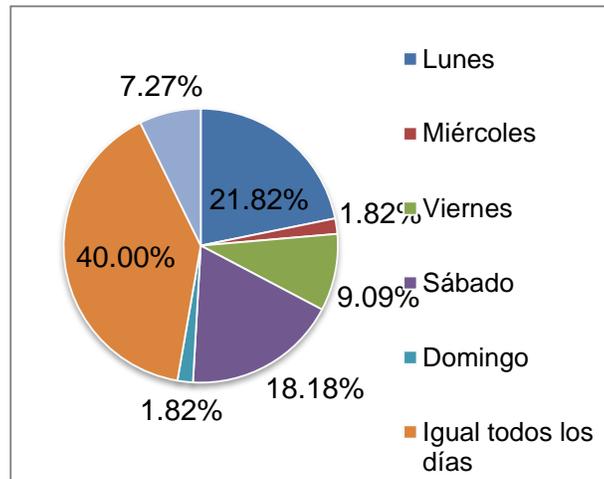
ANEXO 5

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 2: ¿Qué día de la semana se generan mayor cantidad de residuos en su local?										
No.	L	M	M	J	V	S	D	Igual	No respondió	Total
1								1		
2	1									
3								1		
4								1		
5						1				
6								1		
7								1		
8									1	
9	1									
10	1									
11						1				
12	1									
13	1									
14								1		
15						1				
16								1		
17						1				
18	1									
19					1					
20	1									
21					1					
22	1									
23	1									
24								1		
25	1									
26								1		
27	1									
28	1									
29						1				
30			1							
31								1		
32						1				
33								1		
34								1		
35						1				

36						1				
37									1	
38								1		
39					1					
40								1		
41								1		
42					1					
43							1			
44								1		
45									1	
46								1		
47									1	
48						1				
49					1					
50						1				
51								1		
52								1		
53								1		
54								1		
55								1		
Frec.	12	0	1	0	5	10	1	22	4	55

Día de la semana	Frecuencia	Porcentaje
Lunes	12	21.82
Miércoles	1	1.82
Viernes	5	9.09
Sábado	10	18.18
Domingo	1	1.82
Igual todos los días	22	40.00
No respondió	4	7.27
Total	55	100.00



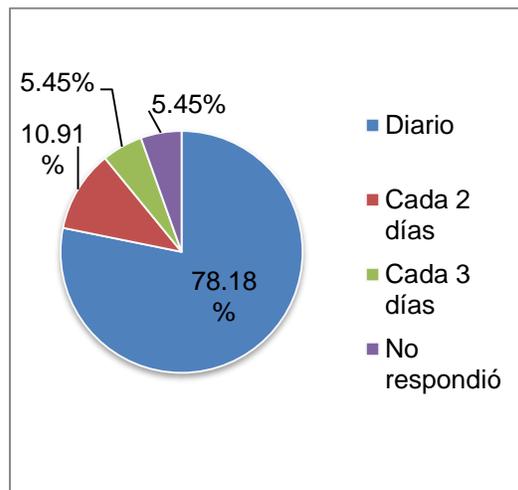
ANEXO 6

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 3: ¿Con qué frecuencia elimina los residuos de su local?					
No.	Diario	C/2 días	C/3 días	No respondió	Total
1	1				
2			1		
3	1				
4	1				
5	1				
6	1				
7	1				
8				1	1
9	1				
10	1				
11		1			
12			1		
13			1		
14	1				
15	1				
16	1				
17	1				
18	1				
19	1				
20	1				
21	1				
22	1				
23	1				
24	1				
25		1			
26	1				
27	1				
28	1				
29		1			
30	1				
31	1				
32	1				
33	1				
34		1			
35	1				

36	1				
37				1	1
38	1				
39	1				
40	1				
41	1				
42	1				
43	1				
44	1				
45	1				
46	1				
47				1	1
48		1			
49	1				
50	1				
51	1				
52	1				
53	1				
54	1				
55		1			
Frecuencia	43	6	3	3	55

Frecuencia de eliminación	Frecuencia	Porcentaje
Diario	43	78.18
Cada 2 días	6	10.91
Cada 3 días	3	5.45
No respondió	3	5.45
Total	55	100.00



ANEXO 7

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 4: ¿Paga por eliminar los residuos de su local?, si es afirmativo, ¿Cuánto?				
No.	Si	No	No respondió	Cuánto (L.)
1		1		5.00
2		1		0.00
3		1		0.00
4	1			0.00
5	1			2.00
6	1			5.00
7	1			5.00
8			1	0.00
9	1			5.00
10		1		0.00
11	1			5.00
12	1			2.00
13		1		0.00
14	1			5.00
15	1			3.00
16		1		0.00
17		1		0.00
18	1			5.00
19		1		0.00
20	1			2.00
21	1			2.00
22			1	0.00
23	1			5.00
24	1			2.00
25	1			2.00
26		1		0.00
27	1			2.00
28	1			2.00
29		1		0.00
30		1		0.00
31	1			5.00
32	1			5.00
33		1		0.00
34	1			3.00
35	1			2.00

36	1			2.00
37			1	0.00
38	1			5.00
39	1			5.00
40	1			2.00
41	1			2.00
42		1		0.00
43	1			5.00
44	1			10.00
45	1			5.00
46	1			5.00
47			1	0.00
48	1			5.00
49	1			5.00
50		1		0.00
51	1			5.00
52	1			5.00
53	1			10.00
54	1			10.00
55		1		0.00
Frecuencia	36	15	4	
			55	

Paga por eliminar los residuos ?	Frecuencia	Porcentaje
Si	36	65.45
No	15	27.27
No respondió	4	7.27
Total	55	100.00

Cuánto paga al día por eliminar residuos?	Frecuencia	Porcentaje
L. 2.00	12	30.00
L. 3.00	2	5.00
L. 5.00	19	47.50
L. 10.00	3	7.50
No respondió	4	10.00
Total	40	100.00

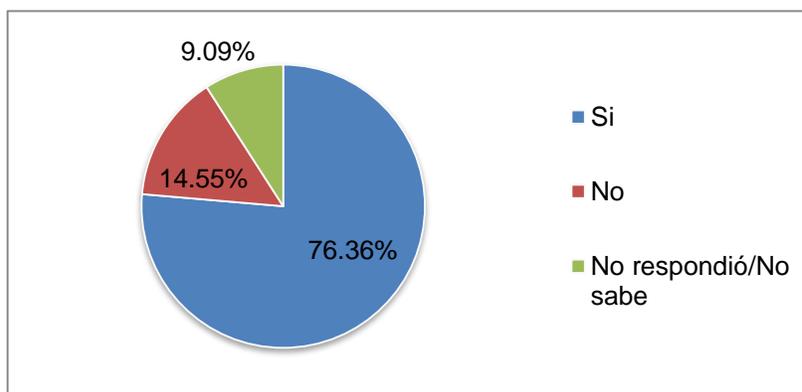
ANEXO 8

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 5: ¿Estaría dispuesto a separar los residuos orgánicos que se generan en su local?			
No.	Si	No	No Resp/No sabe
1	1		
2	1		
3	1		
4	1		
5	1		
6	1		
7	1		
8			1
9	1		
10	1		
11	1		
12	1		
13	1		
14	1		
15	1		
16	1		
17	1		
18	1		
19	1		
20	1		
21	1		
22	1		
23	1		
24	1		
25	1		
26		1	
27	1		
28	1		
29			1
30		1	
31	1		
32	1		
33		1	
34	1		

35		1	
36	1		
37			1
38	1		
39	1		
40	1		
41	1		
42		1	
43	1		
44	1		
45	1		
46	1		
47			1
48	1		
49		1	
50		1	
51	1		
52	1		
53	1		
54		1	
55			1
Frecuencia	42	8	5
			55

Disposición a separar residuos orgánicos	Frecuencia	Porcentaje
Si	42	76.36
No	8	14.55
No respondió/No sabe	5	9.09
Total	55	100.00



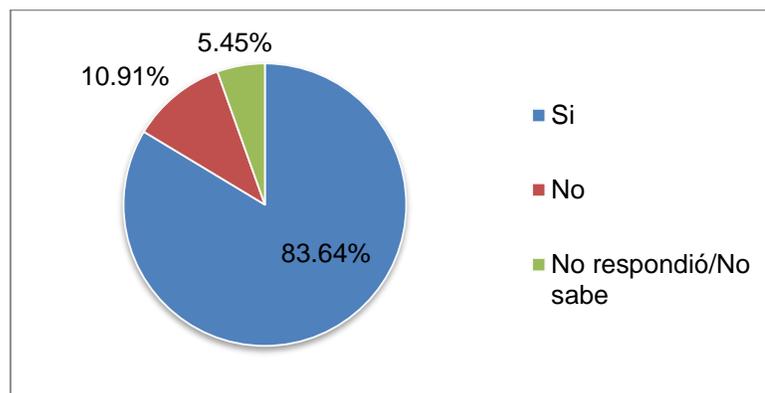
ANEXO 9

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 6: ¿Estaría dispuesto a que se instale un biodigestor para producir energía para usarla en el mercado			
No.	Si	No	No resp/No sabe
1	1		
2	1		
3	1		
4	1		
5	1		
6	1		
7	1		
8	1		
9	1		
10	1		
11	1		
12	1		
13	1		
14	1		
15	1		
16	1		
17	1		
18	1		
19		1	
20	1		
21	1		
22	1		
23	1		
24	1		
25	1		
26		1	
27	1		
28	1		
29			1
30	1		
31	1		
32	1		
33		1	

34	1		
35		1	
36	1		
37			1
38	1		
39	1		
40	1		
41	1		
42	1		
43	1		
44	1		
45	1		
46	1		
47	1		
48	1		
49		1	
50		1	
51	1		
52	1		
53	1		
54	1		
55			1
Total	46	6	3
			55

Estaría de acuerdo en que se instale un biodigestor	Frecuencia	Porcentaje
Si	46	83.64
No	6	10.91
No respondió/No sabe	3	5.45
Total	55	100.00



ANEXO 10

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 7: ¿Con qué tipo de estufa cocina los alimentos?				
Encuestados	LPG	Electricidad	Kerosene	Otro
1	1			
2			1	
3			1	
4	1			
5	1			
6			1	
7	1			
8	1			
9	1			
10	1			
Total	7	0	3	0
				10
Porcentaje	70	0	30	

ANEXO 11

RESULTADOS ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS

Pregunta 8: ¿Cuántas horas al día cocina alimentos en su local?					
Encuestados	2	3	4	5	Otro
1			1		
2			1		
3				1	
4				1	
5				1	
6			1		
7				1	
8			1		
9				1	
10				1	
Total	0	0	4	6	0
					10
Porcentaje	0	0	40	60	0

ANEXO 12

REPORTE DIARIO DE COMPOSICIÓN ABSOLUTA DE LOS RSO EN EL MERCADO JACALEAPA

Tipo de Residuos	Peso Neto (Kilogramos)					
	08-feb-12	09-feb-12	10-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	Promedio
Hojas de repollo	72.50	21.50	12.00	35.00	19.00	35.25
Hojas de plátano (para tamales)	21.00		6.50			6.88
Hojas de remolacha	10.50					2.63
Hojas de cebolla	18.00					4.50
Yuca entera y cáscaras	17.00	5.50	12.00		17.00	8.63
Cáscaras de plátano	6.00		4.00	6.00		4.00
Cáscaras verduras varias	85.50	83.50	56.00	101.50	80.00	81.63
Hojas de vegetales varios	11.50		10.00	14.50	27.00	9.00
Vegetales y frutas enteras varias	27.50		32.00	14.50	29.00	18.50
Residuos de comida	15.00	49.50	50.00	55.50	40.50	42.50
Total	284.50	160.00	182.50	227.00	212.50	213.50

ANEXO 13

REPORTE DIARIO DE COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE RSO DEL MERCADO JACALEAPA

Tipo de Residuos	Porcentaje						
	08-feb-12	09-feb-12	10-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	Promedio	Acumulado
Hojas de repollo	25.48	13.44	6.58	15.42	8.94	13.97	13.97
Hojas de plátano (para tamales)	7.38	0.00	3.56	0.00	0.00	2.19	16.16
Hojas de remolacha	3.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	16.90
Hojas de cebolla	6.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	18.16
Cáscaras de yuca	5.98	3.44	6.58	0.00	8.00	4.80	22.96
Cáscaras de plátano	2.11	0.00	2.19	2.64	0.00	1.39	24.35
Cáscaras verduras varias	30.05	52.19	30.68	44.71	37.65	39.06	63.41
Hojas vegetales varios	4.04	0.00	5.48	6.39	12.71	5.72	69.13
Vegetales y frutas enteras varias	9.67	0.00	17.53	6.39	13.65	9.45	78.58
Residuos de comida	5.27	30.94	27.40	24.45	19.06	21.42	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

ANEXO 14

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 5459

Identificación de muestra: MATERIA ORGÁNICA
Tipo de muestra: RESIDUOS DE ALIMENTOS **Cantidad:** 1 kg aprox.
Procedencia: PARTICULAR
Dirección: Res. Ciudad Jardín, e-mail: reneamador@unitec.edu
Solicitado por: ING. RENE AMADOR
Lote N°: ----- **Elaboración:** ----- **Vencimiento:** -----
Responsable toma de muestra: LA EMPPPESA DE PROCEDENCIA
Toma de muestra: 09/02/12 **Fecha ingreso:** 09/02/12 3:00 PM
Fecha de análisis: 10/02/12 – 14/02/12 **Fecha entrega:** 15/02/12

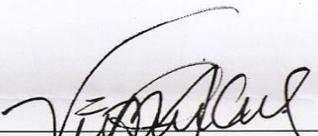
Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
- Sólidos Totales	16,60 %	N/A	-----
- Cenizas	2,30 %	N/A	-----
- Sólidos Volátiles	14,30 %	N/A	-----

----- ULTIMA LINEA -----

Descripción de la muestra: Mezcla heterogénea de residuos de alimentos.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió a temperatura ambiente en empaque plástico proporcionado por el cliente.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso, N/A= No Aplica.


JEFE AREA DE FISICOQUIMICA
Ing. Victoria Cortés




DIRECCIÓN TÉCNICA
Ing. Victoria Cortés