

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**“PROPUESTA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS  
DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA UNIVERSIDAD DE  
EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

**INDRA DEVI CORTEZ BONILLA**

**SALVADOR ARMANDO PALACIOS AGUILAR**

**ALEJANDRO ENRIQUE TORRES RAMOS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2015

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO :

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTOR :

**ING. TANIA TORRES RIVERA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título :

**“PROPUESTA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS  
DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA UNIVERSIDAD  
DE EL SALVADOR”**

Presentado por :

**INDRA DEVI CORTEZ BONILLA  
SALVADOR ARMANDO PALACIOS AGUILAR  
ALEJANDRO ENRIQUE TORRES RAMOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**M.Sc. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ**

San Salvador, Noviembre 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**M.Sc. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradecer a Dios que nos brindó la sabiduría y paciencia necesaria para poder concluir de la mejor forma este trabajo de graduación y encomendárselo a él para que sea instrumento de desarrollo y beneficio para la sociedad.

Luego agradecer al Ing. Miguel Francisco Arévalo por su dedicación, responsabilidad y compromiso con este trabajo de grado, sin él no habiéramos logrado su satisfactoria terminación.

También agradecer a todos nuestros compañeros, amigos y familias que nos han acompañado en este camino universitario por su apoyo en los momentos difíciles y la felicidad compartida con cada éxito a lo largo de la carrera, sin ellos no habiéramos podido ser los estudiantes y futuros profesionales que somos.

Y por último pero no menos importante agradecer a toda la planta docente de la facultad en especial a la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos por todos los conocimientos técnicos, científicos y morales transmitidos a lo largo de la carrera y por convertirnos en mejores profesionales y mejores ciudadanos.

## **Por Indra Devi Cortez Bonilla**

*“Mira que te mando a que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes porque Dios estará contigo donde quiera que vayas, no te dejará, ni te desampará hasta que acabes toda la obra”*

El agradecimiento más importante es para el Rey del Universo mi Dios que me ha permitido llegar hasta aquí, por ser mi fortaleza, mi guía y esa luz que ha iluminado mi camino en tiempos buenos y también en momentos difíciles, gracias por compartir un triunfo así conmigo me siento infinitamente bendecida por tu supremo amor y bondad, esta meta alcanzada es fruto de tu infinita gracia y misericordia porque nada hubiese hecho sin ti, sobrepase un mundo diferente en el cual hubieron mucho sufrimiento, desvelos, llanto pero también alegría, conocimiento y satisfacción, a lo largo de mi carrera me enseñaste diversos escenarios y en cada uno aprendí diferentes lecciones. Gracias mi Dios por este regalo que me has dado fruto de tu infinito amor.

A usted **Lupita Merino**, mi abuelita que está en los cielos, por ese amor tan incondicional y único que me dió, mi abuelita que me formó y es el principal motor de querer culminar esta carrera universitaria, por esa atención que me daba cada vez que venía de la Universidad, por consentirme con la comida y darme ánimos cuando lo necesité. Gracias porque era la principal persona que se sentía orgullosa de mí, sepa que este logro es también suyo. Gracias mi abuelita.

A mi mamá **Adela Merino**, por ser mi apoyo, gracias por enseñarme día a día la entrega y la lucha, el valor del trabajo, por nunca dejarme en los momentos difíciles y por acompañarme en sus oraciones a lo largo de mi carrera, gracias por todo el sacrificio que ha hecho para poder continuar mis estudios, gracias por enseñarme el valor de la vida, gracias por saber guiarme y aconsejarme, por su amor incondicional que ha permitido que tome fuerzas para continuar y cumplir esta meta. Gracias mamá.

A mi papá **Wilfredo Cortez**, por su amor y por estar siempre pendiente de mí en cada etapa de mi carrera, por demostrar que todo se puede lograr a base de dedicación y esfuerzo, por enseñarme una visión diferente de la vida, por alegrarse por mis triunfos y brindarme consejos para seguir adelante durante toda mi carrera universitaria. Gracias papá.

A mis hermanos **Fátima y Diego Bonilla**, por apoyarme durante estos cinco años que emprendí este camino, por demostrar el amor que me tienen de una manera especial, por aguantarme en todos mis momentos de enojo, por inyectar en mi vida un poco de acción y hacer que mi carrera fuera caóticamente hermosa.

A mi comunidad **He aquí a tu Madre** que para iniciar este camino, nos encomendamos a Dios, siempre recibí apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera, siempre obtuve una palabra de aliento que me permitiera continuar con mi objetivo, por escucharme siempre todas mis ocurrencias y demostrar ese espíritu de unidad, por transmitir su conocimiento hacia mí, por alegrarse en mis triunfos y por ser una verdadera y auténtica familia, ustedes me llenan de felicidad.

A los **docentes** que han sido un verdadero ejemplo de enseñanza, por transmitir todo el conocimiento que han adquirido con la experiencia, gracias por enseñarme no solo en el ámbito académico sino también en el personal, gracias por esa formación que he recibido de parte de ustedes durante mi carrera.

A mi familia, abuelitos, tíos, primos y amigos que han estado en esta etapa de mi vida han significado un verdadero apoyo para mí, solo puedo darles infinitas gracias por todo lo que ustedes hicieron durante toda mi carrera universitaria.

**Por Alejandro Enrique Torres Ramos.**

En lo personal quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y sabiduría para poder conducirme a lo largo de la carrera y en este último paso del trabajo de graduación. También agradecer a mi familia por ser pilar que siempre me apoyó en este arduo camino y dedicarles este éxito a ellos.

Quisiera agradecer a mis amigos por el tiempo compartido, las experiencias vividas y el apoyo brindado para la consecución de este trabajo de grado. En especial a mis compañeros de carrera Edwin, Salvador, Indra, Astrid, Eduardo (el café), Luis, Arriola y todos aquellos con los que forme un lazo de amistad a lo largo de mi vida en la Universidad. Hacer una mención también a mis amigos de la infancia Daniel, Guillermo, Eulises y Víctor que siempre estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos. Hacer un agradecimiento especial a mi novia Margarita Gómez que siempre me ha inspirado a seguir adelante y ha sido mi motor en este trabajo de graduación.

Agradecer a los docentes que me formaron y se entregaron para transmitirme de la mejor manera sus conocimientos y poder ser un profesional de éxito para la sociedad.



## **Por Salvador Armando Palacios Aguilar.**

A **Dios**, porque me brindo la sabiduría, la paciencia y la fortaleza necesaria para poder culminar mi carrera universitaria y de esta forma conseguir un éxito más en mi vida. Por estar conmigo, tanto en los malos y tristes como en los buenos y sonrientes momentos que he vivido; sin él a mi lado nada hubiera sido posible.

A mi papá, **Armando Palacios** (QDDG), porque aunque ya no te tenga físicamente conmigo, tu amor, tus lecciones, tus enseñanzas, tus palabras, tus consejos, tu ejemplo, tu esfuerzo, tu dedicación y cada momento vivido a tu lado; son el regalo más lindo que me has dejado y por eso te dedico este logro y aunque físicamente no me podrás ver con mi título de ingeniero, sé que desde el cielo estarás feliz, con esa tierna sonrisa que siempre tenías y que nunca podré olvidar y ahí en mi mente y en mi corazón estarás presente por siempre. Gracias infinitas por todo, por aguantarme y hacer de mí, todo lo que soy. TE AMO PAPA.

A mi mamá, **Beatriz Aguilar**, por amarme con todo su corazón y dar todo por mí cada día, jamás poder pagar el esfuerzo y dedicación que ha tenido hacia mí; por su coraje y valentía al luchar por hacerme un buen hijo, por crear en mí valores, por apoyarme en cada momento bueno y malo que he vivido, por brindarme su mano cuando más la he necesitado y por ser la MEJOR mamá del mundo, gracias. TE AMO MAMA.

A mis hermanas, **Hazel** y **Heidy**, por ser las mejores hermanas, las que me han enseñado tanto y me han brindado su amor día con día, por su ayuda, por apoyarme en cada paso que he dado desde que inicie este reto. Por darme a **Armandito**, el mejor y más genial sobrino y amigo que se puede tener y por estar a mi lado siempre cuando más las he necesitado.

A mis amigos y compañeros de trabajo de graduación, **Quique** e **Indra** y a mis demás amigos **Arriola, Luis, Tavo, Edwin, Café, Eddy** e **Ili Aguilar**, por cada momento compartido, ya sea académico o de amistad, por aguantarme, por brindarme su apoyo, porque a pesar de todo logramos concluir con éxito esta meta, por ser excelentes amigos y porque vivimos juntos este reto, desde los parciales hasta las defensas de este trabajo. Gracias.

A todos mis maestros por su conocimiento compartido. Al resto de mi familia, a mis abuelas, abuelos, tíos, tías, primas, primos y amigos por su apoyo incondicional en este camino recorrido.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
ANTECEDENTES .....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
OBJETIVO GENERAL .....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
JUSTIFICACIÓN.....	20
ALCANCES .....	21
LIMITACIONES.....	21
1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	22
1.1 PROBLEMÁTICA DE LA BASURA EN EL SALVADOR.....	22
1.1.1 La basura y la afectación al medio ambiente.....	24
1.1.2 Producción per cápita de desechos en El Salvador.....	27
1.1.3 Problemática de la basura en la Universidad de El Salvador.....	28
1.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR.....	29
1.2.1 Tipos de gestión de residuos sólidos.....	30
1.2.2 Gestión de residuos sólidos en la Universidad de El Salvador.....	31
1.3 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	34
1.3.1 Clasificación de los residuos.....	35
1.3.2 Metodología de cuantificación de residuos sólidos.....	36
1.4 PROCESO DE BIODIGESTIÓN.....	37
1.4.1 Digestión anaerobia.....	37
1.4.2 Fundamentos de la fermentación metanogénica.....	38
1.4.3 Clasificación de microorganismos involucrados en la digestión anaeróbica.....	43
1.4.4 Factores determinantes en el proceso anaerobio.....	43
1.4.5 Productos de la biodigestión anaeróbica de la materia orgánica.....	49
1.5 BIODIGESTORES.....	52
1.5.1 Tipos de biodigestores.....	52
1.5.2 Modelos de biodigestores.....	54

1.5.2.1 Modelo Chino.....	54
1.5.2.2 Modelo Hindú.....	56
1.5.2.3 Biodigestores horizontales.....	57
1.6 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	58
1.6.1 Métodos para la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA).....	60
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
2.1 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.....	62
2.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	66
2.2.1 Procedimiento metodológico para el diseño del biodigestor.....	66
2.3 METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	73
2.3.1 Alternativas de lugares para la localización de la planta.....	74
2.3.2 Método de Factores ponderados.....	76
2.4 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	78
2.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL.....	80
2.5.1 Evaluación del impacto ambiental.....	80
2.5.2 Percepción de la comunidad universitaria.....	87
3.0 RESULTADOS.....	89
3.1 DATOS DE RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	89
3.1.1 Determinación de número de muestras a tomar.....	89
3.1.2 Determinación de la composición de los desechos sólidos generados en la Universidad de El Salvador.....	93
3.1.3 Cálculo de porcentajes de los desechos en la cafetería.....	94
3.2 DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	94
3.2.1 Cálculo de los Residuos orgánicos diarios.....	94
3.2.2 Cálculo de la carga del biodigestor.....	96
3.2.3 Porcentaje de Sólidos Totales y cálculo de la cantidad de agua.....	96
3.2.4 Dimensionamiento del biodigestor.....	97
3.2.5 Descripción del proceso.....	100
3.2.6 Balance del proceso.....	101
3.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	103

3.3.1 Resultado del método de factores ponderados. ....	103
3.4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA). ....	104
3.4.1 Matriz de evaluación del impacto ambiental. ....	104
3.4.2 Percepción del Proyecto por la Comunidad Universitaria.....	108
3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	112
3.5.1 Costos del Proyecto. ....	112
3.5.2 Beneficios del proyecto. ....	114
3.5.3 Evaluación Económica del Proyecto. ....	118
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	121
4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. ....	121
4.2 PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. ....	124
4.2.1 Costos de la implementación de la propuesta para la clasificación y transporte de los desechos sólidos de la Universidad de El Salvador. ....	129
4.3 PROPUESTA DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	131
4.4 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE BIOGAS.....	135
4.4.1 Macrolocalización. ....	135
4.4.2 Microlocalización. ....	136
4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL Y PERCEPCION DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA DEL PROYECTO. ....	138
4.5.1 Análisis de Impacto Ambiental del Proyecto. ....	138
4.5.2 Análisis de la Percepción del Proyecto.....	144
4.6 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL BIODIGESTOR. ....	145
CONCLUSIONES.....	147
RECOMENDACIONES .....	149
BIBLIOGRAFÍA .....	151
ANEXOS .....	156
1. Hoja de seguridad del Metano.....	157
2. Cotización Empresa EPA. ....	159
3. Factores de Interés de Ingeniería Económica. ....	160
4. Propuesta de depósitos para utilizar en la Universidad de El Salvador.....	161

5. Vista de la planta de biogás. ....	162
6. Alternativas de lugares para la localización del biodigestor. ....	163
7. Ficha técnica de geomembrana EPDM. ....	166
8. Encuesta evaluación de impacto social del proyecto.....	167
9. Datos Técnicos de los equipos a utilizar en la planta de biogás.....	168
10. Información brindada por la UAIPUES. ....	170
11. Fotos del muestro en los depósitos de basura en la UES.....	171

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de producción de desechos sólidos en El Salvador. ....	23
Tabla 2. Rendimiento de diferentes sustratos para la producción de biogás.....	45
Tabla 3. Rendimiento de diferentes sustratos para la producción de biogás.....	46
Tabla 4. Características del biogás. ....	49
Tabla 5. Valor energético del biogás vrs otras fuentes.....	50
Tabla 6. Pesos asignados a cada factor.....	77
Tabla 7. Significado de la puntuación para cada factor para el método de factores ponderados.....	77
Tabla 8. Extensión o influencia espacial. ....	84
Tabla 9. Duración del cambio. ....	84
Tabla 10. Valor de reversibilidad. ....	85
Tabla 11. Riesgo. ....	85
Tabla 12. Significado del valor.....	87
Tabla 13. Pesos de los residuos sólidos de la prueba piloto en la Universidad de El Salvador. ....	90
Tabla 14. Proporciones de residuos sólidos de la prueba piloto y medias aritméticas por componente.....	90
Tabla 15. Varianza y Desviación para cada componente.....	91
Tabla 16. Resumen de Medias y Desviación de los residuos sólidos de la UES. ....	92
Tabla 17. Tamaño de muestra de los residuos sólidos de la UES. ....	92
Tabla 18. Porcentajes de los desechos sólidos en los contenedores de la UES.....	93
Tabla 19. Porcentajes promedio de los desechos sólidos de la cafetería de la Universidad de El Salvador. ....	94
Tabla 20. Residuos generados en contenedores y cafeterías diariamente. ....	95
Tabla 21. Resultados de aplicación del método. ....	103
Tabla 22. Matriz de la Evaluación del Impacto Ambiental para la etapa de construcción. ....	105
Tabla 23. Matriz de la Evaluación del Impacto Ambiental para la etapa de operación. ....	106
Tabla 24. Significado del VIA para cada acción. ....	107

Tabla 25. Resultados de encuesta realizada.....	109
Tabla 25. Resultados de encuesta realizada.....	110
Tabla 26. Costos de inversión del Biodigestor.....	112
Tabla 27. Costos de equipo del centro de monitoreo. ....	113
Tabla 28. Costos involucrados con la operación de la planta.....	114
Tabla 29. Costos totales del proyecto. ....	114
Tabla 30. Beneficios del proyecto. ....	118
Tabla 31. Comparación de composiciones de desechos sólidos en la UES. ....	122
Tabla 32. Costos de la implementación de la propuesta para la clasificación y transporte de los desechos sólidos.....	129
Tabla 33. Resumen de parámetros de diseño. ....	131
Tabla 34. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Construcción.	139
Tabla 35. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Operación. ....	141

## INDICE DE FIGURAS

1.1. Etapas de la digestión anaerobia.....	39
1.2. Formación de monómeros en la hidrólisis.....	40
1.3. Degradación en la fase acetogénica.....	41
1.4. Biodigestor tipo Chino.....	55
1.5. Esquema de un biodigestor tipo Hindú..	57
1.6. Biodigestor horizontal.....	58
2.1. Proceso para el diseño del biodigestor propuesto.....	73
2.2. Opciones para la localización de la planta de producción de biogás.....	75
3.1. Dimensionamiento del biodigestor propuesto.....	99
3.2. Diagrama de proceso para la generación de biogás.....	100
3.3. Diagrama de flujos de entrada y salidas del proceso de producción de biogás en la UES.....	102
4.1. Gráfica de los porcentajes por componente de los desechos sólidos en San Salvador. .....	123
4.2. Principales ejes en los que se basa la propuesta de clasificación y transporte de residuos sólidos en la UES.....	124
4.3. Ubicación propuesta para los basureros de residuos sólidos orgánicos en la UES.....	127
4.4. Rutas de acceso propuestas desde los depósitos hasta la planta de tratamiento.....	130
4.5. Diseño propuesto del biodigestor.....	132
4.6. Distribución de la planta de producción de biogás.....	133
4.7. Macrolocalización de la planta de biogás.....	136
4.8. Microlocalización de la planta de biogás.....	137



## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad el diseño de un biodigestor para la generación de energía como una propuesta de valorización energética de los desechos sólidos orgánicos en la Universidad de El Salvador (UES), utilizando como materia prima residuos de comida y residuos de jardín provenientes del recinto universitario. La producción diaria de los residuos sólidos es de 2050 kg donde el 44.8% son residuos sólidos orgánicos y de las cafeterías se generan 390 kg al día donde el 73% es biomasa, lo que servirá como materia prima para la alimentación para la planta de biogás. Esta planta tendrá la capacidad de tratar 900 kg de residuos orgánicos produciendo una cantidad de biogás de 2.14 m<sup>3</sup> al día y una cantidad de biofertilizante líquido de 2283.79 kg diarios.

Para la localización de la planta de biogás, se hizo uso del método de los factores ponderados, con el cual se determinó la ubicación óptima, tomando en cuenta factores como la accesibilidad de la materia prima, la cercanía al lugar de uso del biogás, entre otros. Dando como resultado que el emplazamiento recomendado es frente al edificio del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), a un costado de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la UES. También se realizó la evaluación del impacto ambiental del proyecto, para la cual se dividió en dos fases; la fase de construcción y la fase de operación, donde en el análisis de dicha evaluación da como resultado que la construcción y operación de la planta de biogás representa pocos problemas a los factores ambientales como suelo, aire y agua, etc. Consecuentemente el proyecto es compatible con el medio ambiente. En el análisis de impacto social, se determina que el proyecto tiene la aceptación de la comunidad universitaria ya que ésta opina que con el proyecto la Universidad contribuye al tratamiento de los residuos sólidos orgánicos.

Se elaboró un estudio de factibilidad económico a la planta de biogás utilizando el método de Tasa Interna de Retorno (TIR), obteniendo una tasa de 345%. Además del método de beneficio costo, donde el resultado de la relación B/C es de 1.66, lo que permitió demostrar la viabilidad económica del proyecto. Por lo tanto, con los resultados obtenidos la implementación del proyecto demuestra ser técnica, económica y ambientalmente factible.

## INTRODUCCIÓN

Una fuente renovable de energía muy utilizada hoy en día es el biogás producido de residuos orgánicos (biomasa) por la acción que los microorganismos metanogénicos ejercen sobre ésta en un proceso anaerobio, la cual puede ser una alternativa para minimizar los problemas actuales como la crisis energética y para dar un tratamiento adecuado a los residuos orgánicos, contribuyendo al desarrollo sostenible.

La producción de biogás es un proceso natural que se puede dar de forma espontánea o de forma controlada por medio de un reactor llamado biodigestor éste es un sistema que en condiciones anaerobias transforma la biomasa en biogás. Existen varios tipos de biodigestores según las condiciones en donde se encuentre y su utilización, entre los cuales están: biodigestor de cúpula fija, biodigestor de cúpula móvil y biodigestor tubular.

La presente investigación surge como iniciativa para aportar una solución concreta a una problemática identificada en el campus de la Universidad de El Salvador debido a los altos volúmenes diarios de residuos sólidos generados que es aproximadamente 2.05 toneladas, según la Unidad de Acceso a la Información Pública de la Universidad de El Salvador (UAIPUES, 2015). Esta problemática está compuesta por los siguientes aspectos: un elevado gasto en consumo de energía eléctrica y un alto costo en transporte y tratamiento de los residuos sólidos generados en la UES.

A raíz de lo anteriormente descrito nace la iniciativa de promover un sistema de tratamiento de desechos que permita no solo contribuir a bajar los niveles de contaminación dentro de la Universidad, sino también que posibilite la producción de energía para disminuir los gastos energéticos de las instalaciones universitarias.

## ANTECEDENTES

Algunas investigaciones de relevancia realizadas en la Universidad de El Salvador se detallan a continuación:

- En el año 2000 Núñez, K.; Ramírez, E. y Yanes, A. de la escuela de Ingeniería Química de la UES realizaron su trabajo de graduación llamado “Propuesta de Gestión de residuos sólidos en la UES”.
- En el año 2005, Mejía, A.; Mejía, P. y Ramírez, D. estudiantes de la escuela de Ingeniería Industrial realizaron su trabajo de graduación con el título: “Estudio de factibilidad técnico económico para la implantación de una planta productora de biogás a partir de desechos orgánicos”.
- En el año 2010, Canales, C.; Rivas, L. y Sorto, R. realizaron otro trabajo de graduación que planteaba el tema “Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de El Salvador”.

Estudios realizados sobre el aprovechamiento energético del biogás y sistemas de biodigestión en diferentes Universidades de El Salvador se tienen:

- En el año 2011, Guerra M. Ingeniero Electricista, Director de la Escuela de Ingeniería, de la Universidad Don Bosco realizó un reporte científico llamado “Diseño y Construcción de un biodigestor en la Universidad Don Bosco”
- En el año 2010, Hidalgo, B.; Maravilla, C. y Ramírez, C. de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” realizaron un trabajo de graduación con el nombre de “Aprovechamiento energético del biogás en El Salvador”.

Estos antecedentes brindan un marco histórico sobre los estudios realizados a nivel de instituciones de educación superior en el tema de valorización energética de desechos, aprovechamiento de biogás y diseño de biodigestores, es por ello que la presente investigación busca un panorama completo entre aprovechamiento energético de los residuos sólidos generados en la Universidad de El Salvador y el diseño de un biodigestor para producción de biogás.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema que se desea solucionar con este proyecto, es el del alto volumen producido de residuos de naturaleza orgánica, reportado en el año 2015 según la Unidad de Acceso a la Información Pública (UAIPUES, 2015) este volumen es de 2.05 toneladas diarias generadas en la Universidad de El Salvador. La basura es considerada como una de las principales causas que afectan a la salud, contribuyendo a la contaminación, debido a que en ella crece una gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades; además al descomponerse la materia orgánica se generan olores desagradables y los lixiviados que se generan pueden contaminar las aguas subterráneas por infiltración de los mismos.

Los malos hábitos de los estudiantes universitarios al momento de realizar la disposición de los desechos generados por las actividades que a diario realizan, aumenta de gran manera la mala disposición de residuos sólidos que se produce en el campus ya que esta no es desechada en contenedores o basureros sino al aire libre ya sea en jardines, aulas, escaleras, etc.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un biodigestor para la generación de energía, utilizando como sustrato residuos sólidos orgánicos provenientes del recinto universitario como una propuesta de valorización energética que promueva un ahorro económico en los gastos de funcionamiento en la Universidad de El Salvador.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Proponer el diseño de un biodigestor adecuado para la materia prima utilizada y que cumpla con los requerimientos mínimos de volumen de desechos.
- Aprovechar el potencial de los residuos sólidos orgánicos para la generación de energía y subproductos.
- Diseñar una propuesta de estrategia para la clasificación y transporte de los desechos sólidos producidos.
- Determinar la rentabilidad económica de la producción de energía generada a partir de los desechos sólidos orgánicos.
- Evaluar el impacto social y ambiental en la generación de energía a partir de los residuos sólidos orgánicos existentes.
- Evaluar el mejor uso energético del biogás a obtener.
- Recomendar la mejor ubicación del biodigestor dentro de la UES.

## **JUSTIFICACIÓN**

Según información de la unidad de acceso a la información pública de la Universidad de El Salvador (UAIPUES, 2015) el promedio del costo por manejo y disposición de los desechos sólidos generados, es de \$57,193.23 por año, esto según datos del Portal de Transparencia Fiscal del Gobierno de El Salvador representa alrededor del 0.5% del monto asignado a la unidad presupuestaria de Dirección y Administración Institucional (monto de esta unidad \$12,483,490); estos datos brindan un parámetro de la necesidad de la implementación de tecnología amigable con el medio ambiente con el fin de disminuir los costos de funcionamiento en estos rubros en el campus universitario y poder destinar estos fondos a otras unidades presupuestarias.

La Universidad cuenta con una población estimada de 50,000 personas entre estudiantes, docentes y trabajadores administrativos, distribuidos en sus 12 facultades; en el campus central funcionan 9 de ellas y oficinas centrales que generan un promedio de 2.05 toneladas de desechos sólidos por día (61.5 toneladas por mes) de acuerdo a los registros existentes del año 2015 según la UAIPUES, estos residuos están constituidos por materiales vegetales como hojas, zacate, ramas, papel en diferentes tipos y tamaños, plásticos, vidrios, hierro, entre otros, que por ahora no tienen un plan de manejo integral, generando un costo económico elevado en su disposición además del impacto ambiental que este conlleva.

En este sentido el presente proyecto propone el uso de los residuos sólidos orgánicos como materia prima para la producción de biogás útil para la generación de energía, por medio de un biodigestor anaeróbico ubicado dentro del recinto universitario.

## **ALCANCES**

Como investigación a desarrollar se diseñará un biodigestor a fin de producir biogás para su posterior utilización y así proponer una alternativa para el uso de los desechos sólidos orgánicos que son generados a diario en la Universidad de El Salvador, además se pretende dar un alternativa de mejora en otras áreas tales como la disminución de la contaminación y la reducción de la factura que la Universidad paga por el tratamiento de la basura; la localización del biodigestor será dentro del recinto universitario.

Asimismo se proyecta determinar la rentabilidad económica de la producción de biogás a partir de los desechos sólidos orgánicos utilizando metodologías como valor presente, tasa interna de rendimiento (TIR).

Se realizará una evaluación del impacto social y ambiental del proyecto, utilizando métodos de evaluación del impacto ambiental; los resultados del trabajo de graduación se esperan obtener en un tiempo mínimo de seis meses en los cuales se concluirá la viabilidad económica y ambiental del proyecto.

## **LIMITACIONES**

Una limitante es la clasificación de la basura, debido a la cantidad que se produce a diario y a la variedad de componentes que están involucrados en ella, por esto se realizará una clasificación de los desechos como biodegradables y no biodegradables. Los recursos económicos necesarios para la compra de equipo a utilizar en la investigación, se solventarán utilizando material no desechable y equipo disponible en la UES. Además tener en cuenta de valorar que la cantidad de biogás producida podría no ser suficiente para la generación de energía, debe también considerarse que para dicho proceso de obtención del biogás serán usados los desechos sólidos orgánicos ya que cualquier compuesto diferente a este tipo inhibirá la reacción y provocará menor producción de biogás, que es lo que se desea obtener. También, se debe tomar en cuenta la educación y cultura de la comunidad universitaria para que tomen en cuenta la propuesta y puedan desechar la basura de manera correcta.

## **1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **1.1 PROBLEMÁTICA DE LA BASURA EN EL SALVADOR.**

En El Salvador el problema de la basura es cada día más difícil de controlar. Diariamente se generan grandes cantidades de residuos que los servicios municipales no alcanzan a recoger debido a que no se dispone de suficientes camiones recolectores para dar una cobertura total a las ciudades. La frecuencia de recolección de basura es muy baja, de una a tres veces por semana, por lo que se acumulan los desechos y nunca se logran erradicar los basurales diseminados por doquier. Asimismo el servicio que prestan los barrenderos municipales es insuficiente debido a que hay muy poco personal asignado. Por otro lado, el salvadoreño no posee la cultura de la limpieza pues arroja la basura en cualquier lugar. La sobrepoblación y la limitada extensión territorial del país son factores que generan problemas sociales, económicos y ambientales (Leiva, 2000).

En 2014 según la DIGESTYC la población de El Salvador era de 6401240 habitantes y para el 2015 se estima que será de 6460271 habitantes. Uno de los principales problemas asociados a este crecimiento poblacional es la generación de desechos sólidos, según el segundo censo de desechos sólidos presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el 2006 la generación diaria de desechos sólidos a nivel nacional es de 3186.97 toneladas. En la Tabla 1 se enlista la generación de desechos por departamento.



**Tabla 1. Resumen de producción de desechos sólidos en El Salvador.**

Producción estimada de desechos sólidos por departamento.		
Departamento	(Ton./día)	%
San Salvador	1,768.78	55.5
La Libertad	368.19	11.55
Santa Ana	270.56	8.49
San Miguel	231.01	7.25
Sonsonate	109.82	3.45
Usulután	82.11	2.58
Cuscatlán	72.46	2.27
La Paz	55.46	1.74
La Unión	51.79	1.63
Ahuachapán	50.29	1.58
Cabañas	42.58	1.34
San Vicente	32.6	1.02
Chalatenango	30.09	0.94
Morazán	21.23	0.67
Total	3,186.97	100

**Fuente: ECOTRANS S.A de C.V. (2006).**

En la Tabla 1 se puede observar que el departamento de mayor producción de desechos sólidos es San Salvador siendo este el más poblado del país y que es el centro político y económico de El Salvador, en este departamento se encuentran los mercados más grandes del territorio salvadoreño, centros comerciales, empresas, complejos habitacionales y comunidades muy pobladas esto provoca que la producción de desechos tenga un gran despunte en este departamento. A diferencia de los municipios menos desarrollados y con más actividad rural y agrícola presentan menores producciones de desechos sólidos como San Vicente, Chalatenango y Morazán.

El manejo inadecuado de residuos sólidos ha generado en nuestra sociedad, una gran pérdida de recursos económicos constante. Todo lo que se desecha en los basureros oficiales y clandestinos de las ciudades urbanas y rurales tiene su valor económico. Miles de toneladas de aluminio, papel, cobre, plásticos y textiles, entre otros, van a parar a esos sitios, perdiéndose así la posibilidad de reinsertarlos en el flujo económico. Esta pérdida

económica se agrava si se considera que este comportamiento hacia los residuos impacta negativamente el ambiente y deteriora la salud pública (ECOTRANS, 2006).

### **1.1.1 La basura y la afectación al medio ambiente.**

El Cambio Climático es una realidad que está afectando a todo el planeta, con el aumento de temperatura debido al efecto invernadero, el cambio de los patrones de lluvia y sequías que generan los fenómenos del niño y de la niña. Esto debido a la desmesurada contaminación ambiental causada por las empresas que liberan contaminantes al aire o a los mantos acuíferos, ciudades que generan toneladas y toneladas de basura y desechos sólidos que en su descomposición o degradación afectan al medio ambiente si no son tratados adecuadamente, así como toda actividad humana que genera desechos sólidos, químicos o bioinfecciosos.

Concentrándose en los desechos sólidos estos generan en su descomposición gases de efecto invernadero en su mayoría  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre otros emisiones dañinas al medio ambiente y a la salud humana en el caso de los desechos orgánicos.

Según Cristián, Ize y Gavilán, (2003) para el caso de los plásticos si bien por sus características de peligrosidad la mayoría de los plásticos sintéticos no representan un riesgo para el ambiente, sí son un problema mayor porque no pueden ser degradados por el entorno; los desechos de metales pesados y baterías tienen un grave impacto ambiental ya que pueden contaminar los mantos acuíferos y el suelo donde se disponen.

A continuación se hace una pequeña reseña de los efectos sobre el medio ambiente de la mala disposición de los desechos sólidos.

#### **1.1.1.1 Agua.**

Según Hernández y Pratt (1998) “la contaminación en mantos acuíferos y ríos a nivel Latinoamericano se puede dar de dos formas:

- La primera de ellas sucede cuando, ante la ausencia de un servicio de recolección y transporte de cobertura universal, tanto en el nivel domiciliario como productivo,

los generadores de desechos los arrojan a los ríos y quebradas más cercanos, introduciendo elementos ajenos al ecosistema, afectando seriamente la calidad de las aguas.

- La segunda ocurre cuando, en el proceso de disposición final de los desechos, nos encontramos ante dos problemas de carácter técnico. Uno de ellos: la ausencia de tratamiento e impermeabilización de suelos en los botaderos. El otro: el vertido incontrolado de los desechos, sin considerar la peligrosidad de los mismos. Provocando así, la mezcla incontenible de los lixiviados con metales solventes o químicos que se filtran por los suelos, contaminándose los mantos acuíferos cercanos. Estas aguas subterráneas suelen ser las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para las comunidades y la limpieza de suelos, ríos y mantos acuíferos, en aquellos casos en que sea posible, cuesta millones de dólares”.

#### **1.1.1.2 Salud humana.**

En tanto en la salud humana la mala disposición de los residuos sólidos aumenta la cantidad de vectores como los zancudos, ratas, ratones, moscas, etc. estos pueden causar grandes epidemias a la población y esto se traduce en una disminución de la calidad de vida y un aumento en la cantidad de inversión en salud pública del estado.

Según la Organización Mundial para la Salud (OMS) en el año 2015 existen muchos efectos a corto y a largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. En efecto, la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

La contaminación atmosférica afecta de distintas formas a diferentes grupos de personas. Los efectos más graves se producen en las personas que ya están enfermas. Además, los grupos más vulnerables, como los niños, los ancianos y las familias de pocos ingresos y con un acceso limitado a la asistencia médica son más susceptibles a los efectos nocivos de dicho fenómeno.

### **1.1.1.3 El suelo.**

El suelo es un medio receptivo de contaminantes puesto que está en contacto con la litosfera, la atmósfera y la hidrósfera. En este sentido está muy expuesto a recibir contaminantes por la acumulación de elementos dañinos en concentraciones altas. La contaminación del suelo se puede dar de dos formas: por procesos naturales y otro provocado por la acción del hombre.

Para el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte America (2002): “Los contaminantes edáficos o del suelo pueden clasificarse en endógenos y exógenos. Los endógenos son aquellos que provienen del mismo suelo, mientras que los exógenos son aquellos que provienen del exterior. La presencia de un contaminante endógeno genera cuando se produce, un desequilibrio natural que conduce a la proliferación de un componente a niveles nocivos para las especies vivas.”

Las consecuencias de este problema afectan inmediatamente a las plantas, pues éstas se encuentran en contacto directo con el suelo. Así pues, las plantas pueden absorber las sustancias nocivas a través de sus raíces y consecuentemente, morir. Si se da el caso de que un animal ingiera hierba contaminada por efecto del suelo corre el riesgo de enfermar y morir también. Por cierto, los animales pueden entrar en contacto directo con el suelo contaminado al excavar sus madrigueras, por lo que existe posibilidad de que los contaminantes se inhalen a través del polvo.

Ahora bien, también es posible que el metabolismo de los microorganismos que residen en el suelo se altere y esto genere consecuencias en las cadenas alimentarias, con efectos graves en las especies depredadoras.

#### **1.1.1.4 El aire.**

El aire es uno de los más afectados con la contaminación generada a partir de la mala disposición de los desechos sólidos ya que estos se degradan y producen gases de efecto invernadero que son perjudiciales al ambiente y a la salud humana ya que ellos son de olor desagradable y tóxicos en altas concentraciones.

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, 2007) menciona los principales tipos de contaminación del aire, entre los cuales están los siguientes:

- a) **Contaminantes gaseosos:** Una combinación diferente de vapores y contaminantes gaseosos del aire se encuentra en ambientes exteriores e interiores. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono.
- b) **El daño a la capa de ozono:** Es producido principalmente por el uso de clorofluorocarbonos (CFCs). El ozono es una forma de oxígeno que se encuentra en la atmósfera superior de la tierra. La capa delgada de moléculas de ozono en la atmósfera absorbe algunos de los rayos ultravioletas (UV) antes de que lleguen a la superficie de la tierra, con lo cual se hace posible la vida en la tierra. El agotamiento del ozono produce niveles más altos de radiación UV en la tierra, con lo cual se pone en peligro tanto a plantas como a animales.

#### **1.1.2 Producción per cápita de desechos en El Salvador.**

El valor de la producción per cápita de desechos en El Salvador en el 2006 fue de 0.5 kilogramos de desechos generados por habitante.

Este índice está acorde a las estimaciones hechas por Alianza Global por Alternativas a la Incineración, por sus siglas en inglés GAIA, en 2013. “En los últimos 30 años, la generación de residuos per cápita en América Latina ha aumentado de 0,2 – 0,5 kg/día a 0,5 –1,00 kg/día, mientras el porcentaje de residuos húmedos se ha reducido en forma notoria (actualmente de alrededor de un 50%), aumentando las cantidades de plásticos, aluminio,

papel, cartón, cajas de empaques y materiales peligrosos. Esta situación, acentuada por una rápida urbanización y migración hacia la ciudad, ha evidenciado la falta de sistemas apropiados para el manejo de los residuos sólidos municipales.”

### **1.1.3 Problemática de la basura en la Universidad de El Salvador.**

Según información de la unidad de acceso a la información pública de la Universidad de El Salvador (UAIPUES, 2015) el promedio del costo por manejo y disposición de los desechos sólidos generados es de \$57,193.23 por año, esto según datos del Portal de Transparencia Fiscal del Gobierno de El Salvador representa alrededor del 0.5% del monto asignado a la unidad presupuestaria de Dirección y Administración Institucional (monto de esta unidad \$12,483,490); estos datos brindan un parámetro de la necesidad de la implementación de tecnología amigable con el medio ambiente con el fin de disminuir los costos de funcionamiento en estos rubros en el campus universitario.

La Universidad cuenta con una población estimada de 50,000 personas entre estudiantes, docentes y administrativos, distribuidos en sus 12 facultades; en el campus central funcionan 9 de ellas y oficinas centrales que generan un promedio de 2.05 toneladas de desechos sólidos por día (61.5 toneladas por mes) de acuerdo a los registros existentes del año 2015 de la UAIPUES, los cuales están constituidos por materiales vegetales como hojas, zacate, ramas, papel en diferentes tipos y tamaños, plásticos, vidrios, hierro, entre otros, que por ahora no tienen un plan de manejo integral, generando un costo económico elevado en su disposición además del impacto ambiental que este conlleva.

La basura es considerada como una de las principales causas que afectan a la salud, debido a que en ella crece una gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades; además al descomponerse la materia orgánica se generan olores desagradables y los lixiviados que se generan pueden contaminar las aguas subterráneas por infiltración de los mismos.

Los malos hábitos de los estudiantes universitarios al momento de botar los desechos generados por las actividades que a diario realizan, aumenta de gran manera la mala disposición de basura que se produce en el campus ya que esta no es desechada en

contenedores o basureros sino al aire libre ya sea en jardines, aulas, escaleras, etc. Esto ha generado que en la Universidad se tenga un grave problema con el manejo y disposición de estos, ya que se incurre en gastos para dar la disposición de ellos y no resulta suficiente ya que en casi todas las áreas de la Universidad se perciben desechos que no han sido correctamente dispuestos, lo cual afecta también al ornato de la misma.

## **1.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR.**

“El inadecuado manejo de los desechos sólidos municipales ha sido durante los últimos años uno de los principales factores que ha degradado las condiciones de nuestros recursos naturales por ende nuestra calidad de vida, sin embargo se registran mejoras en el manejo de los desechos sólidos a nivel nacional, el 64% de los desechos recolectados a nivel nacional son dispuestos en rellenos sanitarios.” (ECOTRANS S.A de C.V., 2006).

En ese marco según MINSAL (2007) “La gestión de residuos o desechos, se refiere a la recolección, transporte, procesamiento, tratamiento, reciclaje o disposición de material de desecho, generalmente producido por la actividad humana, en un esfuerzo por reducir los efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno.”

Tomando en cuenta la problemática que enfrentaban las municipalidades en la recolección, el transporte y la disposición final de los desechos sólidos en mayo de 2010 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) elaboró el documento “Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos” el cual incluye en primer lugar un diagnóstico de la situación actual de manejo de desechos sólidos, creación de una unidad de desechos sólidos y como contenido fundamental el “Plan para el Mejoramiento del Manejo de Desechos Sólidos en El Salvador”. El objetivo del Plan es mejorar la disposición final y reducir los costos a los municipios a través de la ampliación de la oferta de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos y garantizar la sostenibilidad de los sistemas a través de la conciliación de los intereses económicos y sanitario-ambientales, la creación de mecanismos de regulación y la implementación de programas educativos y 3R (Reducción, Reutilización y Reciclaje de desechos sólidos).

De la información brindada en el MARN de la gestión de los desechos sólidos se puede evidenciar que El Salvador como país está realizando una serie de esfuerzos en cuanto a la gestión de los residuos sólidos para luchar contra el problema de la basura que día a día agudiza más la situación de insalubridad, por lo que se está trabajando en conjunto municipalidades con gobierno central y organizaciones que velan por el bienestar común de los ciudadanos, en estrategias de corto y mediano plazo que permitan si no erradicar, disminuir considerablemente dicho problema a manera de que se tenga no solo un plan de acción sino planes de prevención y contingencia para cualquier situación que pueda enfrentar el país. Además la negación y el no otorgamiento de permisos ambientales para la implementación de botaderos a cielo abierto es otra de las estrategias que el gobierno por medio del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) está realizando, obligando a los individuos de determinada región a realizar una gestión adecuada de los residuos sólidos.

### **1.2.1 Tipos de gestión de residuos sólidos.**

Existen diferentes tipos de gestión de desechos sólidos, todos tienen en común el fin de dar el tratamiento necesario a dichos desechos para contribuir a la minimización del impacto que estos generan al descomponerse. Leiva (2000), Hontoria y Zamorano (2000), enlistan algunas de las técnicas de gestión de residuos usadas en la actualidad, las cuales se detallan a continuación:

- a) **Recogida selectiva:** la utilización de contenedores que recogen separadamente el papel, vidrio, plástico, metal, etc.
- b) **Recogida general:** utiliza la bolsa general de basura donde se deposita toda la basura mezclada. Luego es sometida a un proceso de separación de materiales manual y mecanizado.
- c) **Plantas de selección:** En los vertederos más avanzados antes de depositar la basura ésta pasa por una zona de selección en la que manualmente y con máquinas, se retira el material reciclable.
- d) **Reciclaje y recuperación de materiales:** La nueva política actual de gestión de residuos está destinada a reducir el volumen de los mismos que se elimina en



vertedero. La producción de residuos actual es muy elevada, por lo que la vida útil de estas instalaciones está reduciéndose de forma considerable, además de encarecerse como consecuencia de las cada vez más estrictas exigencias para la protección del medio ambiente. Esto ha traído consigo la tendencia a buscar otros sistemas de tratamiento basados en la recuperación y reutilización de fracciones contenidas en los mismos.

El reciclaje es un proceso que tiene por objeto la recuperación de forma directa o indirecta de determinados componentes contenidos en los residuos. Está basado en la conservación de los recursos naturales. Este sistema supone una reducción apreciable del volumen de residuos a tratar y, por supuesto, favorece la protección del medio ambiente.

- e) **Compostaje:** consiste básicamente, en la transformación, mediante fermentación controlada, de la materia orgánica fermentable presente en los residuos urbanos con la finalidad de obtener un producto inocuo y con buenas propiedades como fertilizante o enmienda orgánica de suelos que recibe el nombre de compost. El proceso lleva consigo la separación de la mayor parte de los metales, vidrios y plásticos, y la posterior fermentación de la materia orgánica. Esta fermentación puede ser natural al aire libre o acelerada en digestores.
- f) **Vertido Controlado:** consiste en un principio en la colocación de los residuos sobre el terreno, extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. Se suele realizar su recubrimiento diario con suelo para minimizar los riesgos de contaminación ambiental y para favorecer la transformación biológica de los materiales fermentables.
- g) **Incineración:** La incineración consiste en un proceso de combustión controlada que transforma los residuos en materiales inertes (cenizas) y gases.

### **1.2.2 Gestión de residuos sólidos en la Universidad de El Salvador.**

La gran extensión de área aproximadamente 34 manzanas y la población estudiantil de la Universidad son factores que afectan de manera directa la generación de residuos. Para analizar la gestión de desechos sólidos en la Universidad de El Salvador es importante

mencionar como se generan, entre los puntos más importantes de producción dentro de la Universidad se encuentran:

- a) Cafetería.
- b) Aulas de las diferentes facultades.
- c) Laboratorios.
- d) Áreas verdes.
- e) Fotocopiadoras.

**a) Cafetería.**

En la Universidad de El Salvador (UES) uno de los puntos de mayor generación de residuos es la cafetería universitaria; entre los más comunes se encuentran: restos de comida, plásticos, aluminio, cartón y durapax entre otros.

**b) Aulas de las diferentes Facultades.**

Las aulas universitarias son muy importantes en la generación de los residuos sólidos ya que al albergar diariamente una gran cantidad de estudiantes que reciben clases en ellas, se convierten en fuente de generación de residuos sólidos por la mala cultura de parte de los estudiantes que hacen una mala disposición de los desechos dejándolos en dichas aulas, entre los más comunes se tienen: bolsas de snacks, botellas plásticas de bebidas, papel, restos de comida, entre otros.

**c) Laboratorios.**

Los laboratorios donde se realizan diferentes prácticas por los estudiantes de la Universidad también contribuyen a la generación de residuos, ya que en cada práctica de una forma directa o indirecta se generan residuos. Por lo general estos residuos son un tanto diferentes a los producidos en los demás puntos de generación, ya que constan muchas veces de: descartes químicos, restos de materiales tóxicos, papel, hierro, plásticos, durapax, guantes de látex, etc.

**d) Áreas Verdes.**

La UES cuenta con una gran parte de áreas verdes y espacios de esparcimiento, por lo que el uso que el estudiante le da a estos espacios, ya sea para estudiar, comer o

simplemente departir un momento con compañeros y amigos, provoca que se generen residuos en estos espacios, a pesar de que cuentan con varios recipientes para disponer de los residuos estos parecen no ser suficientes para cubrir la demanda de residuos que se tiene. Los residuos más comunes en estas áreas son: basura de alimentos, papel, bolsas plásticas, residuos de jardín, etc.

**e) Fotocopiadoras.**

Las fotocopiadoras que se encuentran dentro del recinto universitario son un foco de generación de residuos, que por lo general es papel pero dado de que muchas de ellas, están vendiendo muchos productos de consumo alimenticio su generación de residuos además de verse incrementada, también ha ido variando en cuanto a los residuos que se generan ya que estos también incluyen bolsas y recipientes de plástico, cartón, etc.

Habiendo identificado los principales puntos de generación de residuos se procede a explicar la gestión que se les da para su tratamiento. La cual se puede describir por medio de tres etapas:

**Primera Etapa:**

La basura es colocada en depósitos ubicados en diferentes y estratégicos puntos del campus universitario como corredores, entradas de los edificios de aulas, áreas verdes y en la cafetería universitaria.

**Segunda Etapa:**

La basura de los depósitos mencionados en la etapa anterior, es recolectada por la cuadrilla de recolección de la UES, para ser llevada a tres grandes contenedores o también llamados centros de recolección masiva que están ubicados en:

**a) Facultad de Ingeniería y Arquitectura:**

Se recolecta la basura de la facultad de Ingeniería y la del polideportivo universitario, ya que por su cercanía con el contenedor la mayor y gran parte de los residuos generados en el polideportivo van a parar a este contenedor.

**b) Entre el edificio del Centro Regional de Salud Valencia y plaza Minerva (Deposito de Valencia):**

Es usado para disponer los residuos de varias facultades, entre ellas: Facultad de Medicina, Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales, Facultad de Odontología; ya que por su ubicación y tamaño tiene la capacidad de cubrir estas facultades.

**c) Cafetería Universitaria:**

Es donde se recolectan los desechos sólidos generados por la cafetería universitaria, cuenta con una ubicación estratégica ya que está justo detrás de dicha cafetería por lo que se convierte en un contenedor con gran demanda. La cantidad generada en cada tiempo de comida además de las otras horas en que funciona, hace que los residuos se estén generando con mucha rapidez y cantidad.

**Tercera Etapa:**

La basura colocada en los centros de recolección masivos, es cargada directamente a los camiones de recolección de basura de la Universidad, para que esta sea llevada a una planta de tratamiento de desechos. Para lo cual la UES contrata anualmente una empresa de manejo de desechos, por medio de un proceso de licitación pública (UAIPUES, 2015). Tratamiento por el cual la Universidad paga una factura mensual por dicho servicio.

**1.2.2.1 Frecuencia de recolección.**

En la Universidad, la frecuencia con que los residuos sólidos son recolectados varía por Facultad, dicha recolección varía desde una vez a tres veces por día, dependiendo de la cantidad que se genera y de los turnos de la cuadrilla de limpieza, además de depender de la hora de finalización de actividades académicas.

**1.3 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.**

Según Klinger, Olaya, Marmolejo y Madera (2009): “La generación creciente de los desechos sólidos y la pérdida del potencial de utilización de los mismos, fueron identificados como aspectos fundamentales asociados con la problemática ambiental, con base a esto es importante realizar una cuantificación de ellos ya que por medio de ella, se

pueden conocer los potenciales que algunos residuos tienen en cuanto a su aprovechamiento por medio del reciclaje y su reutilización o para aprovechar su potencial energético.”

Para la presente investigación es necesario la cuantificación de residuos debido que esto sirve como un parámetro de diseño para la planta de producción de biogás.

### **1.3.1 Clasificación de los residuos.**

Los residuos han sido clasificados de diversas formas. Según su estado físico éstos pueden ser: sólidos, líquidos, gaseosos o pastosos. Desde el punto de vista de su estructura química, el origen y el destino final potencial de los residuos sólidos estos se pueden clasificar en (Hontoria et. al, 2000):

- a) **Residuos sólidos orgánicos:** Son aquellos que en algún momento formaron parte de un ser vivo o derivan de los procesos de transformación de los combustibles fósiles.
- b) **Residuos sólidos inertes:** Son no biodegradables e incombustibles. Proceden normalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales, como los de la construcción, demolición, etc.
- c) **Residuos sólidos peligrosos:** Son residuos orgánicos o inertes que por sus características físicas, químicas o biológicas no pueden ser acoplados a procesos de recuperación o transformación convencionales.
- d) **Los residuos sólidos urbanos:** comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente se encuentran en estado sólido y son desechados como inútiles o superfluos. Genéricamente se entiende por residuos urbanos los que son producidos por cualquier actividad en los núcleos de población o en su zona de influencia; esto implica que los residuos urbanos son algo más que los residuos generados en el ámbito domiciliario, ya que se debe contemplar el conjunto de otras actividades generadoras de residuos dentro del ámbito urbano.

### 1.3.2 Metodología de cuantificación de residuos sólidos.

Las metodologías de cuantificación de residuos sólidos son variadas pero en general engloban un procedimiento común de varias etapas, que pueden describirse de la siguiente manera:

- a) **Población a analizar:** para esta etapa se selecciona la población que se va a analizar con base a la problemática de residuos que esta enfrenta además de una serie de criterios que van desde la ubicación geográfica hasta el número de habitantes por kilómetro cuadrado de superficie.
- b) **Muestra:** la toma de la muestra depende de la cantidad de residuos que se generen en el área que se analiza; esta etapa es de mucha importancia ya que sirve como base de cálculo en algunas metodologías usadas.
- c) **Clasificación:** la etapa de clasificación consiste en separar de acuerdo a su tipo cada residuo que se ha obtenido de la muestra tomada.
- d) **Cuantificación:** como su nombre lo expresa consiste en cuantificar los residuos con base a los criterios que la metodología exprese; para esta etapa algunas metodologías hacen uso de una serie de ecuaciones y gráficos matemáticos que permiten obtener un consolidado final de cuantificación de residuos.
- e) **Presentación de resultados:** esta etapa consiste en la elaboración de un documento amigable con cualquier tipo de lector en el cual se incluyen análisis y conclusiones del trabajo realizado para que este pueda ser usado para el fin que se desee.

Teniendo una metodología a seguir para la cuantificación de los residuos sólidos y de los resultados obtenidos llevando a cabo esta serie de pasos, se puede evaluar su posible aprovechamiento.

En la actualidad existen diversos tipos de aprovechamiento de los residuos entre los cuales están: Incineración, compostaje, reciclaje, cogeneración, biofertilizantes, biocombustibles, producción de biogás entre otros.

De estos tipos de aprovechamiento la presente investigación se centra en la valoración energética de los residuos sólidos por medio de un biodigestor para la producción de biogás.

En la sección 1.4 se detalla el proceso de biodigestión donde se describen las etapas en las que los microorganismos descomponen la materia orgánica para tener como producto final, biogás y un producto secundario llamado biofertilizante.

## **1.4 PROCESO DE BIODIGESTIÓN.**

Según Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO, 2011) el manejo adecuado de los residuos orgánicos puede lograrse a través de diferentes tratamientos que implican el aprovechamiento de esta materia como tal, obteniendo productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos; por otra parte el rol de los microorganismos es de vital importancia para este tipo de tratamiento de desechos orgánicos ya que transforman la biomasa, disponen de un amplio rango de respuestas frente al oxígeno presente en el ambiente, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar diversos compuestos orgánicos.

### **1.4.1 Digestión anaerobia.**

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE, 2007) “La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacteria orgánica, específicas, se descompone en producto gaseoso o “biogás” ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación”.

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias. Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son (IDAE, 2007):

- a) Reducción significativa de malos olores,
- b) Mineralización,
- c) Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH<sub>4</sub> y reducción del CO<sub>2</sub> ahorrado por sustitución de energía fósil.

#### **1.4.2 Fundamentos de la fermentación metanogénica.**

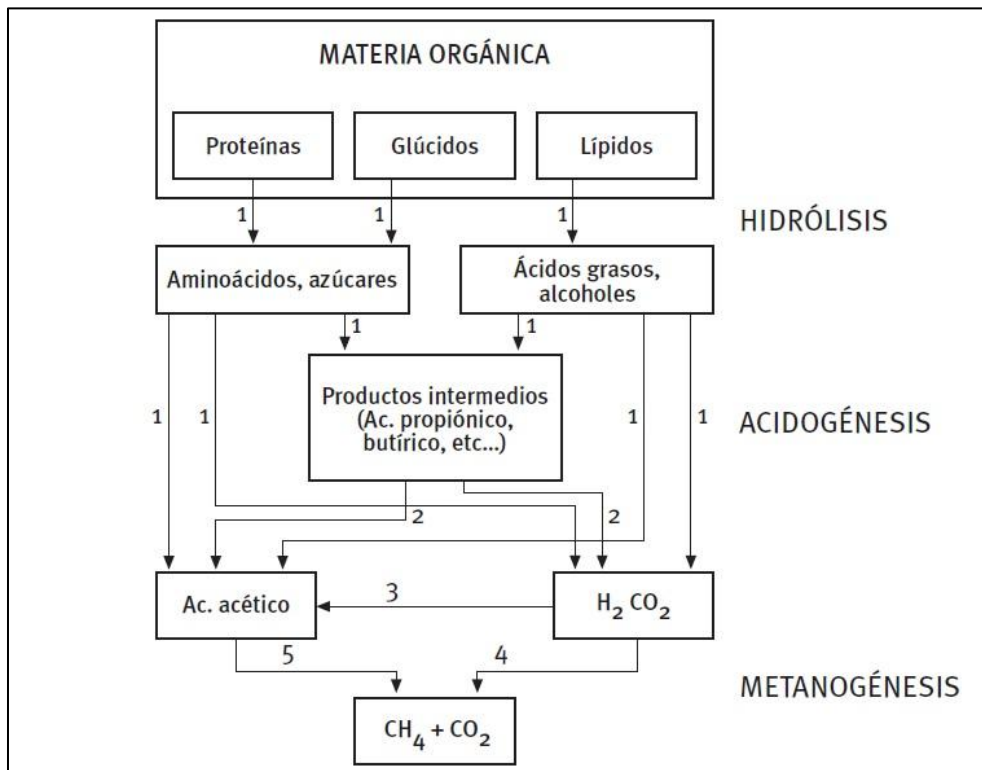
La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea; existen diversos estudios bioquímicos y microbiológicos que dividen el proceso de digestión anaerobia en cuatro etapas (FAO, 2011):

1. Hidrólisis.
2. Etapa acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

En la primera etapa las moléculas complejas son hidrolizadas (proteínas, carbohidratos y lípidos) dando lugar a compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que luego serán metabolizados por microorganismos acidogénicos,



dando lugar a ácidos grasos de cadena corta, donde estos son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de bacterias acetogénicas y luego los microorganismos metanogénicos producirán metano a partir de estos tres compuestos (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono). Ver figura 1.1



**Figura 1.1 Etapas de la digestión anaerobia.**

**Fuente: IDAE, (2007)**

### 1. Hidrólisis:

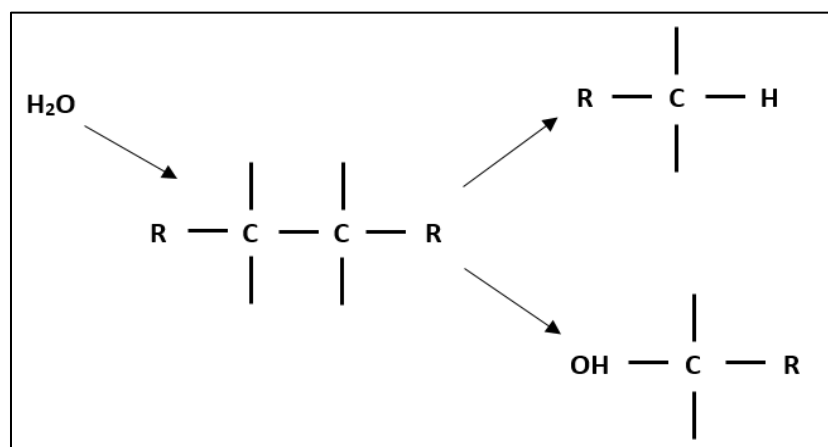
La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es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

es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono (FAO, 2011).

En esta fase los compuestos insolubles como celulosa, proteínas y lípidos son convertidos en monómeros por exoenzimas (hidrolasa) producidas por los microorganismos anaeróbicos estrictos y facultativos. (Ver figura 1.2).



**Figura 1.2 Formación de monómeros en la hidrólisis.**

**Fuente: Dieter Dublein, Angelika Steinhauser. (2008).**

## **2. Etapa acidogénica:**

En esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce también como fermentativa. Es decir, es un período de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8 (Guevara, 1996).

Los monómeros formados en la fase de hidrólisis son tomados por las diferentes bacterias anaeróbicas facultativas y estrictas y son degradados en esta fase a ácidos orgánicos de cadena corta. La concentración de estos compuestos afecta en el tipo de productos de la fermentación. Por ejemplo si la presión parcial del hidrógeno aumenta, se ven reducidos otros componentes como acetato (Deublein & Steinhauser, 2008).

## **3. Etapa acetogénica:**

Esta fase ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos. Es decir, es un período donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6-6.8. (Guevara, 1996). (Ver figura 1.3).

Sustrato	Reacción
Ácido Propiónico	$CH_3(CH_2)COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$
Ácido Butírico	$CH_3(CH_2)_2COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$
Ácido Valérico	$CH_3(CH_2)_3COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + CH_3CH_2COOH + H^+ + 2H_2$
Ácido Isovalérico	$(CH_3)_2CHCH_2COO^- + HCO_3^- + H_2O \rightarrow 3CH_2COO^- + H_2 + H^+$
Ácido Capríónico	$CH_3(CH_2)_4COOH + 4H_2O \rightarrow 3CH_3COO^- + H^+ + 5H_2$
CO <sub>2</sub> /Hidrógeno	$2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2H_2O$
Glicerina	$C_3H_8O_3 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
Ácido Láctico	$CH_3CHOHCOO^- + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2$
Etanol	$CH_3(CH_2)OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2$

**Figura 1.3 Degradación en la fase acetogénica.**

**Fuente: Dieter Dublein, Angelika Steinhauser. (2008).**

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas (FAO, 2011).

#### **4. Etapa metanogénica:**

En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (Guevara, 1996).

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> y ácido fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas (FAO, 2011).

### 1.4.3 Clasificación de microorganismos involucrados en la digestión anaeróbica.

Los microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de la materia que será degradada (FAO, 2011).

Se han encontrado cuatro grupos de bacterias que poseen diferentes funciones catabólicas sobre el carbono, en el proceso de degradación de la materia orgánica hasta el metano:

**Bacterias hidrolíticas:** *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni-bacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera*, *Bifidobacterium*.

**Bacterias acidogénicas:** *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus*, *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides*.

**Bacterias acetogénicas:** Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos

**Bacterias metanogénicas.:** de acuerdo a los sustratos que pueden transformar, las bacterias se clasifican en (FAO 2011):

- a) **Bacterias metanogénicas hidrogenofilicas:** son aquellas que utilizan el hidrógeno ( $H_2$ ) para reducir al dióxido de carbono ( $CO_2$ ), así producir metano ( $CH_4$ ). Las principales especies son *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii*, y *Methanosarcina*.
  
- b) **Bacterias metanogénicas acetoclásticas:** son aquellas que hidrolizan el acetato, oxidando el grupo carbonilo a dióxido de carbono ( $CO_2$ ), reduciendo el grupo metilo a metano ( $CH_4$ ).

### 1.4.4 Factores determinantes en el proceso anaerobio.

Es importante tomar en cuenta los factores que influyen de manera directa en la fermentación metanogénica, esto debido a que los microorganismos son susceptibles a los cambios en las condiciones, pudiendo esto afectar a la tasa de producción de metano.

Entre los factores determinantes para el proceso metanogénico están:

- Tipo y composición química de la materia prima
- Relación Carbono-Nitrógeno
- Concentración de la carga
- Temperatura
- Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica
- Rangos de pH
- Nutrientes
- Potenciales redox, con valores inferiores de -350 mV.
- Promotores e inhibidores de la reacción metanogénica.

#### **1.4.4.1 Tipo de materia prima.**

Existe una variedad de materias primas que se pueden utilizar en el proceso de fermentación metanogénica. Es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos al momento de seleccionar la biomasa (Canales, C.; Rivas, L. y Sorto, R., 2010):

- a) El contenido de materia orgánica debe ser apropiado para la selección del proceso de fermentación.
- b) El valor nutricional de la sustancia orgánica, de ahí el potencial para la formación de gas, debe ser lo más elevada posible.
- c) El sustrato debe estar libre de agentes patógenos y otros organismos, de ser posible debe ser inocuo antes de la fermentación.
- d) El contenido de sustancias nocivas en la basura debe ser baja para permitir que el proceso de fermentación tenga lugar sin problemas.
- e) La composición del biogás debe ser adecuada para una mayor aplicación.

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto

equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (FAO, 2011).

En la Tabla 2 se presentan algunas materias orgánicas con sus respectivos rendimientos en función del tipo de materia prima.

**Tabla 2. Rendimiento de diferentes sustratos para la producción de biogás.**

Residuos	Materia Seca (%)	Rendimiento[m <sup>3</sup> /kg ] Tiempo de retención [d]	Comentario
Residuos de manzana	2-3	0.5 3-10	No dañino Sin complejidad
Residuos vegetales	5-20	0.4 8-20	No dañino Baja complejidad
Pan seco	65-90	0.8-1.2 -	Inofensivo Sin complejidad
Césped	21-40	0.6-0.7 -	Inofensivo Baja complejidad
Excretas de ganado(frescas)	25-30	0.6-0.8 -	Inofensivo Sin complejidad
Excretas de pollo	10-29	0.3-0.8 -	Inofensivo Sin complejidad
Excretas de cerdo	20-25	0.27-0.45 -	Inofensivo Sin complejidad
Residuos de cereales	86	0.2-0.5 -	Inofensivo Baja complejidad

**Fuente: Dieter Dublein & Angelika Steinhauser, (2008).**

#### 1.4.4.2 Relación Carbono-Nitrógeno de la materia prima (C/N).

La materia orgánica es capaz de producir biogás con el proceso de fermentación anaeróbica, el rendimiento y la calidad del biocombustible producido dependerá de los niveles de nutrientes, estos tienen que estar por encima de la concentración óptima, ya que las metanobacterias pueden inhibirse por falta de nutrientes.

Una de las principales fuentes de alimentación de los microorganismos es el carbono y el nitrógeno; donde el carbono proporciona la fuente de energía mientras que el nitrógeno favorece a la formación de nuevas células, donde las bacterias metanogénicas utilizan treinta veces más el carbono que el nitrógeno por lo tanto, la relación óptima de estos compuestos para la producción de biogás varía entre 30:1 hasta 20:1 (Arboleda, Y. y Salcedo, L.,2009), si el carbono es superior a estas cantidades la reacción de descomposición ocurre lentamente, debido a que las bacterias se multiplican y se desarrollan de manera baja por la falta de nitrógeno, esto genera un período prolongado para la producción de biogás, ocurre lo contrario si el carbono es menor, se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, que es tóxico e inhibe el proceso. En general las materias ricas en carbono producen más biogás, pero es más rápida la producción de biogás por materias ricas en nitrógeno. (Ver Tabla 3).

**Tabla 3. Rendimiento de diferentes sustratos para la producción de biogás.**

Residuos	C/N
Paja	90
Residuos de carpintería	511
Papel	173
Residuos de hogares	18
Lodos depurados	6
Pasto	27
Hojas secas	41

**Fuente: Adaptado Dieter Dublein & Angelika Steinhauser, (2008).**



#### **1.4.4.3 Concentración de la carga.**

Para que el proceso se realice satisfactoriamente se tiene que considerar un factor importante y es el porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el biodigestor. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Según estudios realizados se recomienda una concentración de sólidos totales para digestores semicontinuos 8-12% y para digestores discontinuos del 40-60%. Sobre la base de los sólidos totales de la carga pueden calcularse la concentración de los lodos, la cantidad de agua que habrá que agregar y las proporciones de los componentes (FAO, 2011).

#### **1.4.4.4 Temperatura.**

La temperatura juega un papel importante en los procesos anaeróbicos, ya que la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados depende de esta magnitud física pudiendo afectar la cinética de la reacción del proceso.

La relación que existe entre la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la temperatura es directamente proporcional, es decir, al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento bacteriano por ende el proceso de digestión se acelera, dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura constituye uno de los principales parámetros de diseño, las variaciones bruscas de temperatura pueden afectar estabilización del proceso, por lo que garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un indicador.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor, conforme aumenta el rango de temperatura (FAO, 2011).

#### **1.4.4.5 Tiempo de retención y velocidad de carga orgánica.**

El tiempo de retención no es más que el tiempo que permanece la materia orgánica en el biodigestor sometido a la acción de los microorganismos.

Por otra parte la velocidad de carga orgánica no es más que la cantidad de materia orgánica introducida en el biodigestor por unidad de volumen y tiempo siendo esta dependiente de la concentración del sustrato (IDAE, 2007).

El tiempo de retención y el volumen de carga orgánica presentan una relación inversa, ya que a medida aumenta la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Los principales parámetros de diseño lo constituyen la velocidad de carga orgánica y el tiempo de retención definiendo el volumen del digestor.

#### **1.4.4.6 Rangos de pH.**

Las variaciones de pH afectan significativamente al proceso anaerobio, donde los microorganismos metanogénicos son los más susceptibles a estos cambios. Estudios realizados reportan que a valores de pH cercanos a la neutralidad los microorganismos presentan niveles de actividad óptimos.

En la fase metanogénica el pH óptimo es de 6.5-7.5; cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso incluso detener la producción de biogás. El pH se utiliza como parámetro para evaluar la correcta operación del sistema. Un descenso en el valor del pH acompañado de un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, indica que hay una perturbación en el proceso de fermentación. El primer signo de acidificación es el aumento en la concentración del ácido propiónico.

#### **1.4.4.7 Nutrientes.**

Para la síntesis de biomasa en el proceso de digestión anaeróbica se necesitan nutrientes como nitrógeno, fósforo y minerales traza. A diferencia del proceso aerobio una de las

ventajas del proceso anaerobio, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos.

#### 1.4.5 Productos de la biodigestión anaeróbica de la materia orgánica.

Los principales productos obtenidos en el proceso de biodigestión anaeróbica de materia orgánica son: biogás y biofertilizante. Estos productos se detallaran en las secciones siguientes.

##### 1.4.5.1 Generalidades del biogás.

La composición del biogás puede variar por el funcionamiento del proceso y la materia prima utilizada, la Tabla 4 muestra algunas propiedades del biogás. (Ver Tabla 4)

**Tabla 4. Características del biogás.**

<b>Composición</b>	55-70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30-45% Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	0.60 – 0.65 L petróleo / m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6 – 12% de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750 °C (Con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión crítica</b>	74 – 88 atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82.5 °C
<b>Densidad normal</b>	1.2 kg m <sup>-3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo en descomposición
<b>Masa molar</b>	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

**Fuente: Dieter Dublein & Angelika Steinhauser, (2008).**

El contenido energético del biogás evidencia que puede ser utilizado como combustible alternativo para diferentes usos, existen diferentes combustibles utilizados en la actualidad y para propósitos de comparación en la Tabla 5 se presenta el valor energético del biogás con respecto y el de otras fuentes.

**Tabla 5. Valor energético del Biogás vrs otras fuentes.**

<b>Valores</b>	<b>Biogás CH<sub>4</sub> (65%)</b>	<b>Gas natural</b>	<b>Gas propano</b>	<b>Gas metano</b>	<b>Hidrogeno</b>
Poder calorífico (kW h /m <sup>3</sup> )	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/ m <sup>3</sup> )	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (%)	6 – 12	5 – 15	2 – 10	5 – 15	4 – 80
Temperatura de encendido (°C)	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> )	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

**Fuente: FAO, (2011).**

#### **1.4.5.2 Usos del biogás.**

El biogás producido en proceso de digestión anaerobia puede tener diferentes usos entre los cuales destacan la producción de calor, generación de electricidad y combustible de automóviles. (FAO, 2011):

**a) Generación de calor:** el uso más sencillo del biogás es la generación de energía térmica (calor), los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía necesaria para actividades como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas.

**b) Generación de electricidad o sistemas combinados de calor y electricidad:** los sistemas combinados de calor y electricidad aumentan la eficiencia de los procesos, donde algunos sistemas combinados producen calor principalmente y la electricidad

es secundaria, otros sistemas producen electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso

- c) **Combustible para automóviles:** para poder ser utilizado como combustible para vehículos el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural adaptando a los vehículos un tanque de gas y un sistema de suministro de gas. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel.

### **1.4.5.3 Biofertilizante.**

En la fermentación de materiales orgánicos por proceso anaeróbico se genera un producto rico en elementos minerales, especialmente nitrógeno. Este se origina a partir de la intensa actividad de microorganismos que se encuentran disponibles en la naturaleza.

Los biofertilizantes pueden ser aplicados directamente sobre los cultivos por vía foliar o sobre suelos preferencialmente cuando estén con coberturas, además de considerar su aplicación directa sobre las aboneras para enriquecerlas.

La clasificación del biofertilizante según FAO (2011), en función a la carga usada y el proceso utilizado puede presentarse de dos formas: líquida y sólida.

- a) Biofertilizantes de forma líquida: son provenientes de biodigestores continuos con una alta tasa de carga y un bajo contenido de sólidos totales (12%).
- b) Biofertilizante de forma sólida: proveniente de biodigestores batch o semicontinuos.

Para darle una clasificación como biofertilizante, tiene que poseer ciertas características bioquímicas de las materias utilizadas de manera que si estas contienen altos niveles de nutrientes, generarán productos con características de fertilizantes orgánicos. En función de la calidad de estos materiales digeridos se puede establecer propuestas de uso, manejo y disposición adecuada, considerando especialmente su aplicación al suelo.

## **1.5 BIODIGESTORES.**

Un biodigestor es un tipo de reactor en condiciones anaerobias diseñado para propiciar un ambiente adecuado a las bacterias que degradan la materia orgánica convirtiéndolo finalmente en biogás y dejando efluentes utilizados como fertilizantes agrícolas.(Salazar, Amusquivar, Llave & Rivasplata, 2012).

El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo. Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento. La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

Características de un biodigestor de materia orgánica para obtener una correcta operación (FAO, 2011):

- a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) Aun no siendo un recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- e) Tener acceso para el mantenimiento.
- f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

### **1.5.1 Tipos de biodigestores.**

Los biodigestores pueden ser clasificados de diferente forma; varían según su utilización y complejidad. Las plantas de biogás (biodigestores) sencillas se clasifican en tres tipos principales, descritos a continuación (Hilbert, 2003):

**a) Planta con cúpula o campana flotante.**

Se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, la cual puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás (Vargas, 1992).

**b) Planta con cúpula o campana fija.**

Es un biodigestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás (Vargas, 1992).

**c) Biodigestor tubular o geomembrana.**

Está compuesto de un tubular en material plástico completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta (Pedraza, Chará, Conde, Giraldo y Giraldo, 2002).

Clasificación según su forma de operación (FAO, 2011):

**a) Biodigestor continuo:** Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo.

**b) Biodigestor semicontinuo:** Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención (TR) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó.

**c) Biodigestor discontinuo o régimen estacionario:** El digestor se carga con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacía por completo y se alimenta de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación.

### **Clasificación según la forma de contacto:**

Dependiendo de la forma de contacto entre el material o sustrato fermentante y la población bacteriana dentro del reactor, se definen dos tipos de digestores anaeróbicos. (Canales et al. 2010).

- a) **Digestor de mezcla completa:** Denominados así porque el sustrato a ser digerido y los microorganismos encargados de su degradación se encuentran formando una sola unidad, dentro del cuerpo del digestor, originándose la fermentación de la materia orgánica.
- b) **Reactores de filtro anaeróbico, lechos expandidos y fluidizados y las unidades U.A.S.B. (Up flow Anaerobic Sludge Blanket):** Todos estos reactores están basados en la tendencia que tienen las bacterias, especialmente las metanogénicas a fijarse sobre superficies sólidas. Estos reactores son operados básicamente en forma continua con cargas diarias o interdiarias, en las cuales el material a fermentar se encuentra suspendido en la solución.

### **1.5.2 Modelos de biodigestores.**

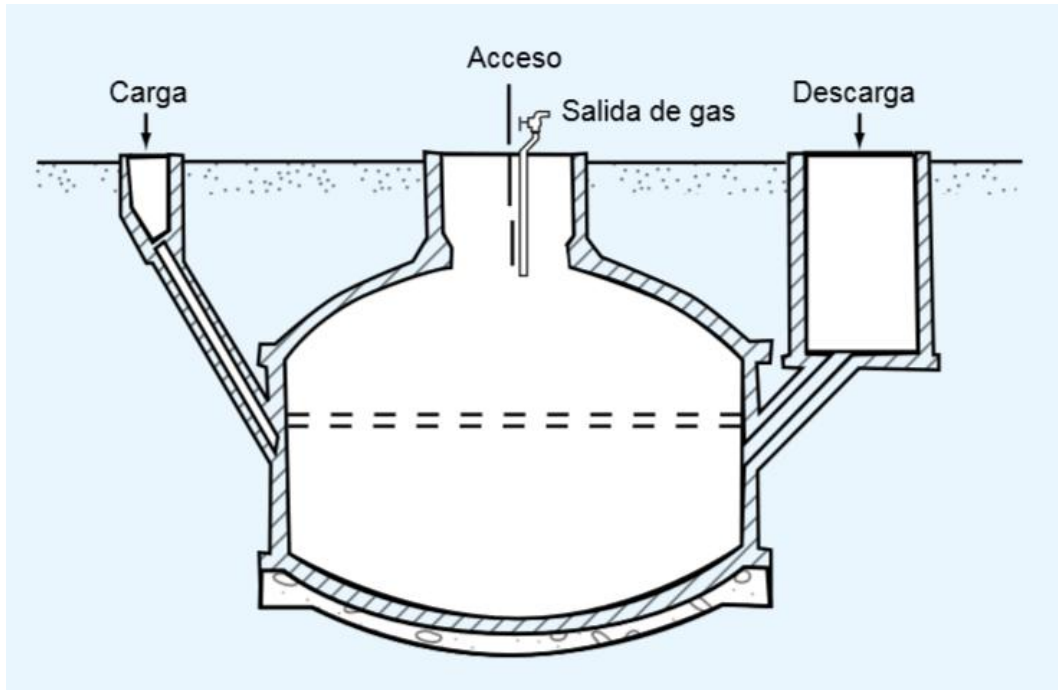
Existen diferentes modelos de biodigestores cuya diferencia entre uno y otro radica en la utilización de materiales para su construcción desde su mampostería, prefabricada y metálica.

#### **1.5.2.1 Modelo Chino.**

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados (FAO, 2011). (Ver figura 1.4). Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la



letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor (FAO, 2011).



**Figura 1.4 Biodigestor tipo Chino.**

**Fuente: FAO, (2011).**

En este tipo de biodigestor el biogás se almacena dentro del sistema, a medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del biodigestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir, llegando a alcanzar presiones de 1 metro de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volumen de gas / volumen del digestor al día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores (FAO, 2011). Este tipo de biodigestor presenta poca eficiencia para la generación de biogás pero es excelente en la producción de bioabono.

Las ventajas que presenta este tipo de biodigestor están: larga vida útil de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable; y su construcción es subterránea, que lo protege contra bajas temperaturas (Hilbert, 2003). Entre sus desventajas se encuentran que

la presión de gas no es constante; la presión puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas.

#### **1.5.2.2 Modelo Hindú.**

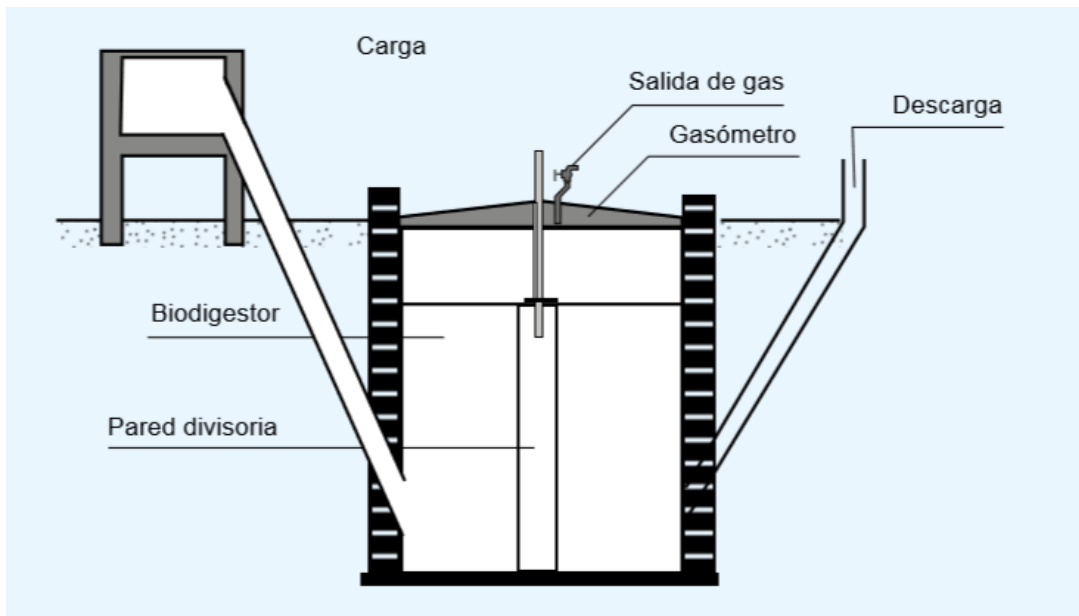
En cuanto a este modelo, Canales et al. (2010) menciona que este modelo es originario de la India y se difundió mucho porque mantienen una presión de trabajo constante, generalmente son verticales, con el gasómetro incorporado (por lo que se llama digestor de cúpula móvil), la estructura se construye de bloques y concreto, y el gasómetro es de acero, lo que lo hace costoso. (Ver figura 1.5).

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación (Hilbert & Eppel, 2007).

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente; este tipo de biodigestor presenta una alta eficiencia de producción de biogás (FAO, 2011).

Sus ventajas son (Hilbert, 2003): la mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas; la presión de gas es constante; y es de fácil manejo. Entre las

desventajas están el alto costo en la construcción de la campana; en la mayoría de los casos, la campana es metálica y estará sujeta a corrosión, cuya protección a esta acción incrementa el costo y requiere un mantenimiento periódico, incrementando los costos de operación.

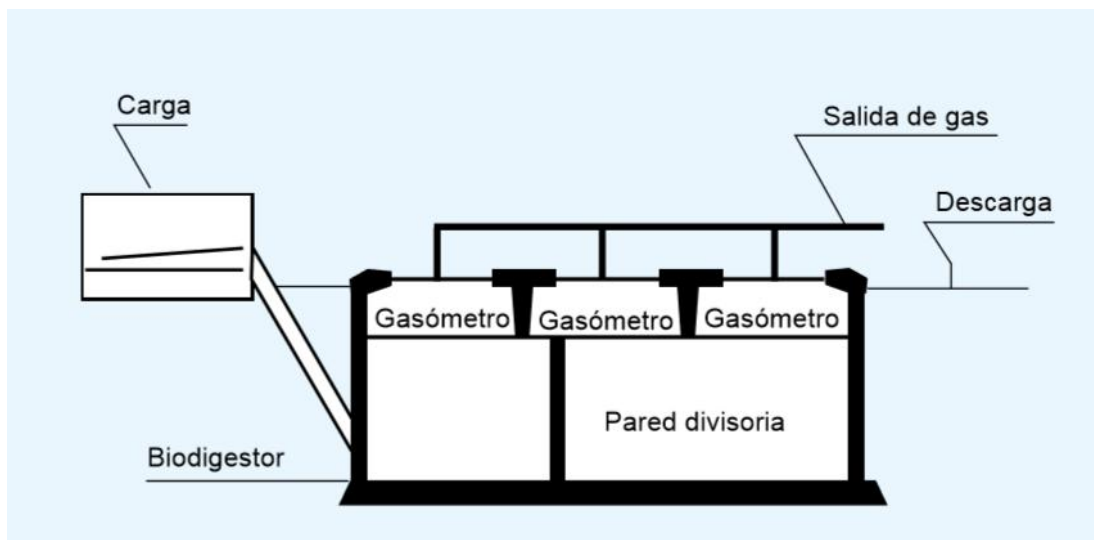


**Figura 1.5 Esquema de un biodigestor tipo Hindú.**

**Fuente: FAO, (2011).**

### **1.5.2.3 Biodigestores horizontales.**

Según Canales et al. (2010) son un tipo de biodigestores que no profundizan en el suelo, pueden ser de forma rectangular y con una sección transversal circular, cuadrada o “V”. Se caracterizan por ser de concreto armado debido a las presiones a que estos se someten. Se opera en un régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y los lodos saliendo por el extremo opuesto. La cúpula debe ser rígida o de algún material que no presente fugas del biogás; este tipo de biodigestor se requiere cuando el volumen de carga es igual o mayor a 15 m<sup>3</sup> (FAO, 2011). (Ver figura 1.6).



**Figura 1.6 Biodigestor horizontal.**

**Fuente: FAO, (2011).**

## **1.6 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

Según la ley de Medio Ambiente de El Salvador Art.5 define como Estudio de impacto ambiental: Instrumento de diagnóstico, evaluación, planificación y control, constituido por un conjunto de actividades técnicas y científicas realizadas por un equipo multidisciplinario, destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales, positivos y negativos, de una actividad, obra o proyecto, durante todo su ciclo vital, y sus alternativas, presentado en un informe técnico; y realizado según los criterios establecidos legalmente.

Evaluación del Impacto Ambiental Art. 18.-“Es un conjunto de acciones y procedimientos que aseguran que las actividades, obras o proyectos que tengan un impacto ambiental negativo en el ambiente o en la calidad de vida de la población, se sometan desde la fase de preinversión a los procedimientos que identifiquen y cuantifiquen dichos impactos y recomienden las medidas que los prevengan, atenúen, compensen o potencien, según sea el caso, seleccionando la alternativa que mejor garantice la protección del medio ambiente.”Este implica:

- Modificación de las características del medio
- Modificación de sus valores o méritos de conservación
- Significado de dichas modificaciones para la salud y bienestar humano

El impacto ambiental constituye una alteración significativa de las acciones humanas; su trascendencia deriva de la vulnerabilidad territorial. Una alteración ambiental, correspondiente a cualquiera de esas facetas de la vulnerabilidad o fragilidad del territorio, puede ser individualizada por una serie de características; entre ellas destacan:

- El *carácter* del impacto que hace referencia a su consideración positiva o negativa respecto al estado previo a la acción; indica si, en lo que se refiere a la faceta de la vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, ésta es beneficiosa o perjudicial.
- La *magnitud* del impacto informa de su extensión y representa la “cantidad e intensidad del impacto
- El *significado* del impacto alude a su importancia relativa (se asimila a la “calidad del impacto”).
- El *tipo de impacto* describe el modo en que se produce; por ejemplo, el impacto es directo, indirecto, o sinérgico (se acumula con otros y se aumenta ya que la presencia conjunta de varios de ellos supera a las sumas de los valores individuales).
- La *duración* del impacto se refiere al comportamiento en el tiempo de los impactos ambientales previstos: corto o largo plazo.
- La *reversibilidad* del impacto tiene en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación anterior a la acción. Se habla de impactos reversibles y de impactos terminales o irreversibles.
- El *riesgo* del impacto estima su probabilidad de ocurrencia.
- El *área espacial* o de influencia es el territorio que contiene el impacto ambiental y que no necesariamente coincide con la localización de la acción propuesta.

### **1.6.1 Métodos para la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA).**

Actualmente existe un gran número de métodos para la evaluación de impactos ambientales, muchos de los cuales han sido desarrollados para proyectos específicos, impidiendo su generalización a otros.

Dichos métodos se valen de instrumentos, los cuales son agrupados por Espinoza y Alzina (2002) en tres grandes grupos, así: Modelos de identificación (listas de verificación causa efecto ambientales, cuestionarios, matrices causa-efecto, matrices cruzadas, diagramas de flujo, otras), Modelos de previsión (empleo de modelos complementados con pruebas experimentales y ensayos “in situ”, con el fin de predecir las alteraciones en magnitud), y Modelos de evaluación (cálculo de la evaluación neta del impacto ambiental y la evaluación global de los mismos).

Los métodos cuantitativos consisten en la aplicación de escalas valorativas para los diferentes impactos, medidos originalmente en sus respectivas unidades físicas. En estos se diferencian dos grupos, el primero permite la identificación y síntesis de los impactos (listas de chequeo, matrices, redes, diagramas, métodos cartográficos), y un segundo grupo incorpora, de forma más efectiva, una evaluación pudiendo explicitar las bases de cálculo.

Se tienen además métodos integrales que hacen posible la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, mediante adopción y medición de indicadores ambientales y funciones de transformación que permiten su comparación directa.

Existen diferentes métodos dentro de los cuales se destacan:

- a) Método MEL-ENEL.
- b) Método de Leopold.
- c) Método de los criterios relevantes integrados (VIA).
- d) Método RIAM (Matriz de Evaluación Rápida de Impacto).

La elección del método dependerá del tipo de evaluación de impacto ambiental del proyecto, para este caso debido a que las condiciones son adecuadas y los criterios de

evaluación satisfacen con la presente investigación se retoma en el capítulo dos la evaluación del impacto ambiental utilizando el método del VIA.

En cuanto a la evaluación del impacto social para Pardo (2002) es una parte sustancial de la Evaluación del Impacto Ambiental, tanto si se trata de proyecto, este requiere evaluar el impacto que un proyecto de desarrollo puede producir sobre las poblaciones humanas afectadas por el mismo.

## 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

### 2.1 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.

Es evidente que tanto la cantidad como composición de residuos sólidos ha cambiado con respecto al tiempo, en el año 2000 según Núñez, Ramírez & Yanes se generaban en la UES diariamente 185.49 kg. En el 2015 según la UAIPUES la cantidad de residuos sólidos es de 2.05 toneladas diarias, en cuanto a la composición de los desechos es necesario actualizar los datos haciendo un análisis experimental con el fin de conocer la cantidad de materia prima disponible para el dimensionamiento del biodigestor.

Para esta sección se utilizará el método descrito en Núñez et al, (2000), en esta sección se detalla el procedimiento a seguir para la determinación de la cantidad y composición de los residuos sólidos, el cual contempla las siguientes etapas:

- a) Determinación del número de muestras a tomar (Prueba Piloto).
- b) Recolección y Selección de los desechos sólidos.
- c) Caracterización de los desechos sólidos.

A continuación se explicará cada etapa planteada en el método:

#### a) Determinación del número de muestras a tomar.

Para determinar la cantidad de muestras a tomar en cada punto donde se disponen los desechos dentro de la Universidad se hizo una Prueba Piloto, que consiste en el cálculo del número de muestras por medio de la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\sigma^2 Z^2}{E^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$\eta$ : número de muestra.

$\sigma$ : varianza muestral.

Z: Nivel de confianza, indica el número de errores estándar asociados al nivel de confianza generalmente se utiliza un valor de confianza de 95%, Z= 1.96 de tablas. (Bustamante, 2011)

E: Error máximo permisible del 5%.



Para el cálculo de la varianza muestral ( $\sigma$ ) se realizó un muestreo inicial (piloto), en este se tomaran muestras de los contenedores ubicados en el campus universitario. Estos son el depósito de Ingeniería y Arquitectura y el depósito de Valencia.

La metodología a utilizar es la aplicada por Núñez (2000) y se describe a continuación:

1. Se mezcló la basura contenida en los depósitos con el fin de homogenizarla. Se tomó una muestra de 10 lb de residuos sólidos esta cantidad fue tomada con la finalidad de comparar los resultados obtenidos actualmente y los datos reportados por Nunez et. Al. en el 200.

Esta muestra se colocó en bolsas plásticas previamente pesadas y rotuladas.

2. Se procedió a la separación manual de los desechos en los siguientes componentes:
  - a) Papel y Cartón
  - b) Plásticos
  - c) Vidrio
  - d) Metales
  - e) Madera
  - f) Residuos de Jardín
  - g) Residuos de Comida
  - h) Otros

3. Se pesó cada uno de los componentes por separado y se determinó la fracción peso de cada categoría para cada contenedor.

4. Se calculó la media de las fracciones con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{\sum Xi}{n} \quad \text{Ec. 2}$$

5. Del mismo modo se procedió al cálculo de la varianza muestral utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (Xi - X)^2}{n} \quad \text{Ec. 3}$$

6. Una vez determinados los datos para cada subdivisión, se realizó el cálculo del número de muestras ( $\eta_i$ ) para cada categoría por medio de la ecuación 1.

7. El número total de muestras a tomar se divide entre el número de contenedores existentes en la Universidad de El Salvador en este caso son dos contenedores principales, el depósito de Ingeniería y Arquitectura y el depósito de Valencia para obtener un plan de muestreo.
8. El plan de muestreo consiste en distribuir el número de muestra obtenida como resultado de realizar la prueba piloto en los dos contenedores existentes estableciendo con este resultado el número de días que se realizará el muestreo y la cantidad de muestra a tomar por contenedor, de tal manera que este se haga de forma balanceada en ambos contenedores, es decir, que para que la cuantificación de residuos sólidos sea confiable es necesario tomar muestras representativas.

**b) Recolección y Selección de los desechos sólidos.**

1. Con la información obtenida por la UAIPUES (2015) sobre los horarios de trabajo de la cuadrilla de recolección de desechos sólidos en la UES, se determinó que la hora adecuada para la toma de la muestra era a las 5:00 pm, esto debido a que la cuadrilla tiene un horario de 6:00 am a 2:00 pm, con esto se garantiza que los contenedores tendrían una cantidad considerable de desechos.
2. Ya que es el mismo universo que se estudia y para hacer una comparación entre las composiciones de los residuos sólidos del año 2000 y los actuales (2015). El tamaño de la muestra que se tomó fue de 25 lb la misma cantidad recolectada por Núñez et al (2000).
3. Para la realización de muestreo se utilizaron materiales como: tirro, plumones, libreta de toma de datos, bolsas plásticas de jardín y de medio jardín, palas y sacos plásticos. Instrumentos como: balanza granataria con capacidad de 500 g, balanza de resorte con capacidad de 120 kg y equipo de seguridad: gabachas, traje impermeable, botas de hule, guantes de hule, mascarillas para vapores tóxicos y lentes de protección.
4. La toma de muestra se describe así: primero se tomó una porción de residuos sólidos de los depósitos haciendo uso de los materiales, instrumentos y equipo de seguridad, esto debido a que dentro de los depósitos se hace una mezcla previa esto para homogenizar la fracción de residuos que luego se introduce en una bolsa plástica de

Jardín. Se utiliza el método de cuarteo para asegurar una buena homogenización este se describe a continuación, se toma la bolsa de jardín que contiene los residuos sólidos, el contenido de dicha bolsa se vacía formando un montón sobre una área plana horizontal, la fracción de residuos sólidos se homogeniza mezclándolo con una pala y los residuos se dividen en cuatro partes aproximadamente iguales, se eliminan las partes opuestas y lo restante se mezcla y se repite la operación hasta tener aproximadamente 25 lb con esta muestra se hace la cuantificación.

**c) Cuantificación de los desechos sólidos.**

1. Se procede a la separación manual de dicha muestra en los componentes enlistados en la prueba piloto:
  - a) Papel y Cartón
  - b) Plásticos
  - c) Vidrio
  - d) Metales
  - e) Madera
  - f) Residuos de Jardín
  - g) Residuos de Comida
  - h) Otros
2. Cada componente se introduce en una bolsa tamaño conocido como de medio jardín previamente rotulada para luego pesarlo por medio de pesada directa haciendo uso de una balanza de resorte.
3. Posteriormente se calculará su fracción peso para que al terminar el muestreo se calcule el promedio de las proporciones de cada componente.

**d) Cuantificación de los residuos sólidos en las cafeterías.**

Para el cálculo de los porcentajes de los residuos sólidos provenientes de la cafetería se efectuó otro procedimiento debido a que la disposición de estos residuos sólidos no los asume la Universidad como tal; sino más bien los propietarios de cada cafetín contratan un vehículo para el transporte de estos residuos; es por eso y porque en la cuantificación global

de basura brindada por el departamento de acceso a la información pública de la Universidad de El Salvador no se contempla esta basura se hará un cálculo aparte.

El procedimiento que se realizó fue el de ir a los dos contenedores específicos para la cafetería, y se cuantificó toda la basura que se encontraba en ellos para su posterior clasificación y pesada de cada componente, este procedimiento se realizó tres veces, en un periodo de tres semanas, se cuantifico los desechos sólidos; cabe recalcar que se separaron en los mismos componentes y se utilizó el mismo material y equipo de seguridad descritas en la sección 2.1 y que estos residuos estaban ya segregados como política de buenas prácticas de manejo de los comedores.

## **2.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL BIODIGESTOR.**

La metodología para el diseño del biodigestor ha tomado en cuenta diversos factores que se detallaran en los siguientes apartados. (Canales et Al., 2010; Allen-Perkin, 2010).

### **2.2.1 Procedimiento metodológico para el diseño del biodigestor.**

- **Determinación de la cantidad de la materia prima:**

Previamente determinada la composición de los residuos sólidos de la UES y cafeterías, se estimó la cantidad de materia prima, esta proviene de dos fuentes, la primera son los residuos de comida (sobras de comida y los residuos de su preparación) y la segunda, los residuos de jardín. La cantidad de materia prima se calculó con la siguiente ecuación:

$$MO = MC + MJ \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

MO: Cantidad de materia orgánica diaria.

MC: Cantidad de residuos comida.

MJ: Cantidad de residuos de jardín.

Utilizando las proporciones promedios obtenidas con la metodología de la sección 2.1, se calculó la cantidad de residuos de comida (MC), mediante la siguiente ecuación:

$$MC = X_{c1} * Mt_1 + X_{c2} * Mt_2 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde

MC: Cantidad total de Comida

X<sub>c1</sub>: Fracción de comida proveniente de los contenedores

X<sub>c2</sub>: Fracción de comida proveniente de las cafeterías

Mt<sub>1</sub>: Masa Total de los contenedores

Mt<sub>2</sub>: Masa Total de las cafeterías

De igual manera, el cálculo de la cantidad de residuos de jardín (MJ), se realizó con la siguiente ecuación:

$$MJ = X_{j1} * Mt_1 + X_{j2} * Mt_2 \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

MJ: Cantidad total de Jardín

X<sub>j1</sub>: Fracción de residuos de jardín proveniente de los contenedores

X<sub>j2</sub>: Fracción de residuos de jardín proveniente de las cafeterías

Mt<sub>1</sub>: Masa Total de los contenedores

Mt<sub>2</sub>: Masa Total de las cafeterías

- **Calculo de cantidad de materia prima a utilizar en el biodigestor**

Para el cálculo de la cantidad de materia prima a utilizar en el biodigestor se procede a encontrar las cantidades de residuos de jardín y residuos de comida necesarias, tomando una relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de 30:1 como la óptima para la producción de biogás (Canales, 2010). Con la ecuación 7:

$$K = \frac{C1Xc+C2Xj}{N1Xc+N2Xj} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

K: Relación C/N de la mezcla de materias primas.

C: Porcentaje de carbono orgánico contenido en cada materia prima (%C).

N: Porcentaje de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima propuesta (%N).

Xc: Cantidad de comida para cargar el biodigestor.

Xj: Cantidad de Jardín para cargar el biodigestor.

Según Canales (2010) los datos de porcentaje de carbono y porcentaje de nitrógeno para los residuos de comida y residuos de jardín son los siguientes:

- Porcentaje de Carbono de los Residuos de Comida (C1): 54.19%
- Porcentaje de Carbono de los Residuos de Jardín (C2):52.11%
- Porcentaje de Nitrógeno de los Residuos de Comida (N1): 1.688%
- Porcentaje de Nitrógeno de los Residuos de Comida (N2): 2.747%

La estimación de la materia prima diaria utilizada en el biodigestor, será la suma de la cantidad de residuos de jardín más la cantidad de residuos de comida.

$$M_{\text{alimentación}} = Xc + Xj \quad \text{Ec. 8}$$

- **Cantidad de mezcla de agua y determinación de Sólidos Totales (St).**

Para que el proceso anaeróbico se lleve a cabo satisfactoriamente; la mezcla que se carga en el biodigestor debe contener un porcentaje de sólidos totales. Experimentalmente se ha comprobado que el porcentaje de sólidos totales óptimo es del 8% (Canales et Al, 2010).

Para lograr una concentración del 8% de sólidos totales, se tiene que considerar la cantidad de sólidos secos y la cantidad de agua que se debe agregar al biodigestor para un funcionamiento y producción de biogás adecuado.

Conociendo la humedad y la cantidad de residuos de jardín y comida. El volumen de agua que se tiene que agregar para tener el 8% de Sólidos Totales se determina de la siguiente manera:

$$ST = \frac{(Ss)}{(M_{alimentación}) + (M_{agua})} = 8\% \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

Ss: cantidad total de sólidos secos

M<sub>alimentación</sub>: cantidad de materia prima a utilizar en el biodigestor

M<sub>agua</sub>: cantidad de agua a agregar

El total de sólidos secos (Ss) se obtiene de dos fuentes de residuos de comida y de residuos de jardín y se calcula con la ecuación 10:

$$Ss = Ssc + Ssj \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

Ss: cantidad total de sólidos secos

Ssc: sólidos secos de residuos de comida

Ssj: sólidos secos de residuos de jardín

Los sólidos secos de residuos de comida y de residuos de jardín se calcula mediante la ecuación general:

$$Ssx = Mx(1 - Hx) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

Ssx: es la cantidad de residuos sólidos secos de comida o de jardín

Mx: Cantidad de residuos de jardín o residuos de comida

Hx: Humedad de los residuos de jardín o residuos de comida

La humedad de Residuos de Jardín y Comida respectivamente tomados de Canales et al (2010):

%H<sub>comida</sub>: 79.83%

%H<sub>jardín</sub>: 78.43%

La carga diaria que se utiliza en el biodigestor es la cantidad de alimentación más la cantidad de agua previamente estimada.

$$M_{carga} = M_{alimentación} + M_{agua} \quad \text{Ec. 12}$$

- **Determinación de las dimensiones del biodigestor.**

El dimensionamiento del biodigestor comprende el cálculo del volumen del gas, el volumen del líquido y el volumen total tomando en cuenta un 5% adicional del volumen del diseño a considerarse por razones de construcción.

La densidad es uno de los parámetros fisicoquímicos que se utiliza para el cálculo del volumen del biodigestor donde se toma una densidad de la mezcla de agua y desechos sólidos orgánicos  $\rho = 1080 \text{ Kg/m}^3$  (Canales et al, 2010).

$$V_{carga} = \frac{M_{carga}}{\rho} \quad \text{Ec. 13}$$

Según Canales et al (2010) los residuos generados en la Universidad de El Salvador tienen una producción óptima de biogás en un tiempo de retención de diez días, para mantener el nivel de generación se realizarán cargas diarias de sustrato dando alimento a las bacterias metanogénicas; en base a este parámetro se procede a estimar el volumen del líquido:

$$V_{líquido} = V_{carga} * (\text{Tiempo de retención}) \quad \text{Ec. 14}$$

El biodigestor comprende dos zonas bien diferenciadas: una gaseosa, donde se acumula el biogás antes de salir del interior de la manga de plástico o geomembrana; y otra líquida, donde se deposita la carga líquida en la zanja.



Según Allen-Perkins (2010) “La parte gaseosa comprende un 25% del volumen total del digestor; la líquida un 75% del mismo”. Se tiene:

$$V_{gas} = \frac{1}{3} V_{líquido} \quad \text{Ec. 15}$$

Con la determinación del cálculo del volumen del líquido y el volumen de gas respectivamente se procede a la estimación del volumen de la cámara de fermentación (Volumen total):

$$V_{Cámara\ de\ fermentación} = V_{líquido} + 5\%V_{líquido} + V_{gas} \quad \text{Ec. 16}$$

Cálculo de otros parámetros de diseño (Longitud y diámetro)

Se asume que el volumen total del biodigestor se aproximará a la forma de un cilindro para el cálculo de dicho volumen se utilizará la siguiente ecuación:

$$Vt = S(m^2) * L(m) = \frac{\pi D^2}{4} * L \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

S: Sección eficaz

L: Longitud del biodigestor

D: Diámetro del biodigestor

Lo que se busca es encontrar los valores de longitud y diámetro para esto se utiliza la relación de óptima de (L/D) de 5 según Allen- Perkins (2010), el cálculo se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{Cámara\ de\ fermentación}}{D} = \frac{5\pi D^2}{4} \quad \text{Ec. 18}$$

- **Producción estimada de biogás y biofertilizante.**

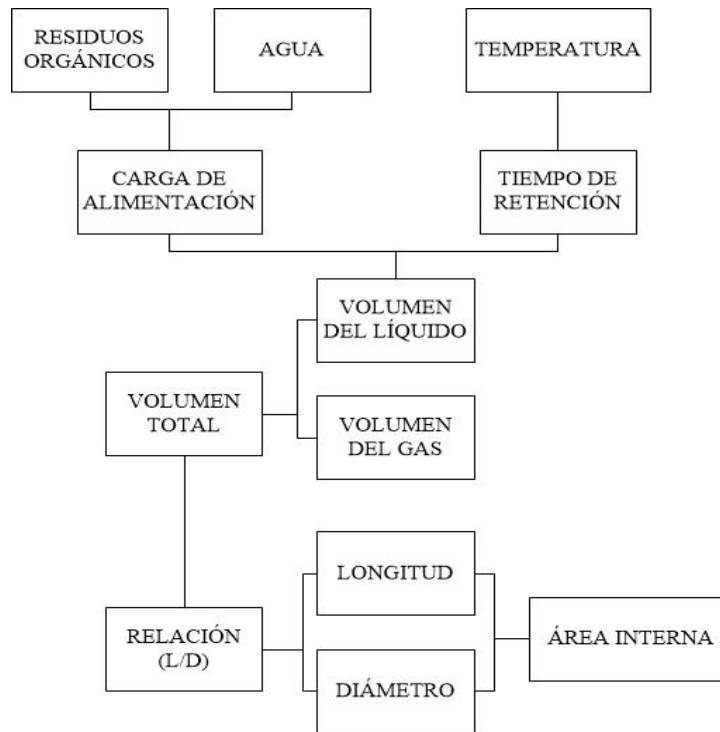
Realizando todos los cálculos acerca del dimensionamiento del biodigestor se obtiene el rendimiento de producción de Biogás diaria (Canales et al, 2010), tomando la cantidad total de sólidos secos para la siguiente estimación; se tiene que en la Universidad de El Salvador se obtiene una cantidad diaria de biogás:

$$R = Ss * 0.0117 \frac{m^3}{kg \text{ seco}} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde la cantidad de 0.0117 m<sup>3</sup>/ kg secos se obtuvo experimentalmente en la investigación de Canales et al (2010). Para finalizar se hizo el cálculo del subproducto a obtener (biofertilizante). Se hizo el balance de masa global para determinar la cantidad de salida del biofertilizante.

$$m_{total} = m_{biogas} + m_{fertilizante} \quad \text{Ec. 20}$$

En la figura 2.1 se presenta el proceso para determinar las dimensiones del biodigestor propuesto para tratar los residuos orgánicos de la UES; el proceso básicamente es determinar la cantidad de los residuos orgánicos producidos en la UES calcular el agua necesaria para obtener la carga de alimentación, por otra parte la temperatura es un parámetro importante para la determinación del tiempo de retención; teniendo el tiempo de retención y la carga de alimentación se procede a estimar el volumen de líquido, este volumen sirve para la determinación del volumen del gas, para luego determinar el volumen total, con la determinación del volumen total se procede a calcular diámetro y longitud del biodigestor.



**Figura 2.1. Proceso para el diseño del biodigestor propuesto.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **2.3 METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.**

Para la selección del espacio físico adecuado para instalar a futuro la planta de producción de biogás dentro de la UES se presentan ciertos requisitos:

El terreno seleccionado no debe tener un uso específico para actividades, que puedan dificultar el emplazamiento de la planta de producción de biogás.

El terreno debe estar ubicado en una zona donde no interfiera con las actividades académicas y administrativas además de ser un lugar tal que no dificulte el transporte de la materia prima y el lugar propuesto tiene que estar cerca del lugar de destino del biogás.

### **2.3.1 Alternativas de lugares para la localización de la planta.**

Tomando en cuenta los requisitos planteados en la sección 2.3 se propone instalar la planta dentro del recinto Universitario, considerando tres espacios físicos con potencial para su emplazamiento. Las opciones se presentan a continuación:

Opción A: entre la unidad de desarrollo vehicular y la concha acústica, contiguo a la estación meteorológica. Este lugar es una alternativa debido a que presenta condiciones adecuadas del suelo, esta deshabitado y no hay mucha afluencia de estudiantes y administrativos. (Ver Anexo 6).

Opción B: frente al edificio de CENSALUD, a un costado de la planta piloto. (Ver Anexo 6). Este espacio físico se tomó como alternativa debido a que es cercano al lugar de destino del biogás, es un terrono no utilizado por la UES y el área es lo suficientemente amplia para instalar una planta de producción de biogás propuesta en la presente investigación.

Opción C: contiguo al depósito de desechos sólidos de la facultad de ingeniería y arquitectura. Es un lugar completamente deshabitado, es atractivo para la instalación de la planta porque existe cercanía con la materia prima además de ser un terreno que la Universidad hasta el momento no utiliza. (Ver Anexo 6).

Para tener una referencia de la localización de cada opción considerada se presenta un croquis con la localización de dichos lugares (Ver figura 2.2).



**Figura 2.2. Opciones para la localización de la planta de producción de biogás.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.3.2 Método de Factores ponderados

Para la localización de la planta de producción de biogás se utilizó el método de los factores ponderados (Equipo Vértice, 2007) esto debido a que es fácil y versátil de aplicar, además se adecua a las condiciones contempladas en la presente investigación.

Éste método presenta un análisis cuantitativo en el que se comparan entre si las diferentes alternativas de localización, para determinar una o varias localizaciones válidas.

A continuación se presenta el procedimiento para aplicar el método:

1. Determinar una relación de los factores relevantes.

Según la FAO (2011) los factores determinantes para la localización de la planta de producción de biogás son:

- a. Accesibilidad de materia Prima.

Este factor se refiere a la cercanía y facilidad de transporte, carga y descarga de la biomasa.

- b. Disponibilidad de insumos (Agua, electricidad entre otros).

Este considera el acceso y disponibilidad de los insumos necesarios para la operación de la planta.

- c. Cercanía al lugar del destino del biogás.

Toma en cuenta la distancia existente entre la salida del biogás y el lugar donde este se utilizará, esto debido a la presión necesaria para su transporte ya que a mayor distancia se generan caídas de presión y esto incurre en gastos en compra de equipo para su transporte.

- d. Facilidad del almacenamiento del subproducto.

Es el espacio físico necesario para almacenar el biofertilizante generado en el proceso.

- e. Topografía del sitio.

La topografía del sitio hace referencia al tipo, forma y detalle del suelo.

- f. Factores ambientales.

Dentro de los factores ambientales se considera el cambio generado en el ecosistema y los posibles impactos ambientales que la realización del proyecto provocará.

g. Riesgos por fallas.

Es el potencial de peligrosidad que puede tener la ocurrencia de una falla en la planta ya sea física o mecánica.

2. Asignar un peso a cada factor que refleje su importancia relativa.

Este método establece que la asignación del peso de cada factor se establece con base al criterio del evaluador, por lo tanto se decidió fijar los siguientes pesos. Ver Tabla 6

**Tabla 6. Pesos asignados a cada factor.**

<b>Factores</b>	<b>Pesos (%)</b>
Accesibilidad de materia prima	25
Disponibilidad de insumos (agua, electricidad, etc.)	5
Cercanía al lugar del destino del biogás.	20
Facilidad del almacenamiento del subproducto	10
Topografía del Sitio	15
Factores Ambientales	20
Riesgo por falla o desperfectos	5
<b>Total</b>	<b>100</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

3. Fijar una escala para la puntuación de cada factor, se tomará la escala de 0-100 puntos, este paso corresponde al sistema de evaluación de los factores.

**Tabla 7. Significado de la puntuación para cada factor para el método de factores ponderados.**

<b>Significado</b>	<b>Puntuación</b>
<b>Deficiente</b>	0
<b>Bueno</b>	50
<b>Excelente</b>	100

**Fuente: Fuente elaboración propia.**

4. Evaluar cada localización para cada factor.

Para cada una de las alternativas de localización presentadas en la sección 2.3.1 se hizo una corrida del método asignando las puntuaciones detalladas en el numeral anterior según corresponda.

Un ejemplo es: en el caso de que la disponibilidad de la materia prima de la opción A sea "buena" su puntuación será 50, en el caso de que sea "excelente" será de 100 puntos y de ésta manera se determina la puntuación del resto de factores.

5. Multiplicar la puntuación por los pesos para cada factor y obtener el total para cada localización.

Para obtener la puntuación final de cada opción se utilizará la siguiente ecuación:

$$Total = \Sigma(W_i * N_i) \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

Wi: Es el peso asignado a cada factor ver Tabla 6.

Ni: Es la puntuación asignada a cada opción por factor ver Tabla 7.

6. Según los resultados obtenidos concluir.

## 2.4 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Para la realización del análisis económico del proyecto se utilizaran dos métodos:

- a) **Análisis Beneficio - Costo.**
- b) **Tasa Interna de Retorno.**

Las metodologías de aplicación de los métodos a utilizar se describen a continuación según Taylor (1996):

- a) **Análisis Beneficio – Costo:**

Para realizar este análisis económico es necesario determinar el monto de todos los costos que se involucran en la realización de la planta de producción de biogás. Así como todos los beneficios económicos que el proyecto generará en un determinado intervalo de tiempo. Habiendo obtenido todos los costos y todos los beneficios del



proyecto, el método indica realizar la sumatoria de todos los costos y la sumatoria de todos los beneficios para luego realizar la relación entre los beneficios y los costos ( $B/C$ ), obteniendo de esta relación un cociente que es la base para la toma de decisión, la cual se realiza de la siguiente manera:

- Si  $(B/C) > 1$ ; se recomienda la realización del proyecto, ya que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia cuan mayor sea el cociente obtenido a 1.
- Si  $(B/C) = 1$ ; se dice que da igual realizar o no el proyecto ya que solo se recuperará la inversión realizada sin generar ninguna ganancia extra a lo invertido.
- Si  $(B/C) < 1$ ; No se recomienda realizar el proyecto bajo las condiciones actuales, ya que este generará pérdida debido a que los costos son mayores que los beneficios.

**b) Tasa Interna de Retorno (TIR):**

Es un método de análisis económico que se utiliza habitualmente para evaluar la conveniencia de las inversiones o proyectos. Cuanto mayor sea la tasa interna de retorno de un proyecto, más deseable será llevar a cabo el proyecto. El método consiste en el cálculo de la tasa de retorno para la vida económica del proyecto, donde esta se comparará con la tasa de retorno de otro proyecto atractivo. Este modelo iguala costos con los ingresos, a partir de la ecuación:

$$(P - L) \left( \frac{A}{P}, i, n \right) + Li + D = I \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

I: Ingreso anual bruto.

P: Costo de Inversión.

L: Valor de Salvamento.

i : Tasa interna de retorno (TIR).

D: Desembolsos.

$\left( \frac{A}{P}, i, n \right)$  = Factor de equivalencia (de tablas de Ingeniería Económica).

Los pasos para el cálculo de la TIR por el método iterativo son los siguientes:

1. Igualar los costos anuales a los ingresos anuales.
2. Hacer la primera prueba suponiendo que  $i=0$ , como muestra que los ingresos son suficientes para recuperar los costos.
3. Por medio de pruebas sucesivas, determinar los puntos cercanos a la tasa real de rendimiento e interpolar.

## **2.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL.**

### **2.5.1 Evaluación del impacto ambiental.**

Tomando en cuenta el tipo de proyecto a realizar en este caso la construcción de una planta para la producción de biogás, la población aproximada de 50,000 personas y recursos naturales que se verán afectados con la realización del mismo como suelo, aire, agua y ornato, se ha determinado que el método de evaluación de impacto ambiental que mejor se ajusta a estas condiciones específicas, es el método del VIA (Valor de Impacto Ambiental). Para la evaluación de impacto ambiental se considera dos etapas: la fase de construcción y fase de operación.

El método del VIA, según la FAO (1995), en forma específica considera en una primera fase la calificación de los efectos emplazamiento de la planta de producción de biogás según los siguientes criterios:

- a) Tipo de acción:** se considera cualquier acción que genera un cambio evidente.

En esta sección se realizará un desglose de las acciones que presenta el emplazamiento del proyecto y la descripción de cada una, se han dividido en dos etapas: construcción y operación.

### Etapa de Construcción:

- Preparación del terreno: Esta acción consiste en aplanar y nivelar el terreno de forma que este sea apto para la construcción del proyecto, también considera que se puede obtener como residuo una cantidad de tierra que sea removida en los procesos antes mencionados, además la remoción de algún árbol que esté dentro del área considerada para la ubicación de la planta. Con esta acción se afectará recursos como el suelo, aire y ecosistema del terreno.
- Excavación de la Zanja: Consiste en elaborar el agujero donde se ubicará el biodigestor ya que este estará aproximadamente a un metro abajo del nivel del suelo; obteniéndose como residuo la tierra, ripio o cualquier tipo de materia que se encuentre en la zona donde se realizará la excavación. Será afectado el recurso suelo y aire.
- Acondicionamiento y relleno de la Zanja: En esta acción es donde se le dará forma al agujero donde estará ubicado el biodigestor, elaborando paredes con inclinación de 45°, además se considera la aplicación de una capa de concreto sobre dichas paredes de tal forma que se obtendrá el fondo del biodigestor al final de esta acción; como residuos del proceso se puede considerar la infiltración de agua residual del proceso de aplicación de la capa de concreto. Se verá afectado el recurso hídrico y suelo.
- Construcción de depósito de la mezcla: Se realizará la construcción de un depósito que estará ubicado a un costado del biodigestor y que se utilizará para la preparación de la mezcla carga orgánica – agua, que se prepara previa a ser depositada en el biodigestor, en dicha acción se verán afectados tanto recursos como agua y suelo, además del ecosistema del lugar de ubicación de este depósito.
- Construcción del área de control de proceso: Comprende la construcción de un espacio físico donde se tendrá el equipo necesario para estar monitoreando el proceso de producción de biogás y el control adecuado para evitar derrames o fugas. En esta actividad se verá afectado el recurso suelo y aire en la etapa de construcción.

- Construcción de bodega de subproductos: Esta acción está destinada en la construcción de un almacén hecho de bloques y cemento; donde se trasladará el biofertilizante líquido previamente envasado para luego ser ocupado como bioabono dentro del recinto universitario. Los recursos que se verán afectados con esta actividad serán el suelo y el aire.
- Reforestación del terreno: Esta actividad contempla el engramado y sembrado de plantas ornamentales, esta acción se realizará en el final de la etapa de construcción.

#### Etapa de operación:

- Recepción de la materia prima: Se recibirá la materia prima por medio de un camión, el cual será almacenada en un depósito de concreto donde se realizará la mezcla con agua para su posterior carga al biodigestor por medio de una red de tuberías de PVC, se debe tener precaución a la hora de la descarga para evitar accidentes.
- Alimentación de la materia prima al sistema: La alimentación de la materia prima al proceso se hará de manera diaria, por medio de una tubería de PVC que conectará el tanque de mezclado con el biodigestor, la alimentación diaria será de 900 kilogramos de desechos y 1.39 metros cúbicos de agua que se mezclarán previamente para asegurar el porcentaje de sólidos totales en 8%. En la alimentación del proceso pueden ocurrir fugas en la tubería o derrames en el tanque de mezclado que afectarían al suelo y provocarían malos olores en los alrededores.
- Generación o producción de biogás: Esta acción es la principal en el proceso ya que se obtiene el producto deseado; el biogás generado por la descomposición anaeróbica de los desechos sólidos se acumulará en el domo del biodigestor el cual está fabricado de geomembrana y tendrá en la parte superior la válvula de salida del biogás para su posterior uso; la salida del biogás será ayudada por la presión atmosférica generada sobre el domo del biodigestor. Esta etapa es crítica ya que se tiene que procurar no tener fugas y asegurar que la presión sea

constante para no tener caídas de presión y pérdidas del producto. Las fugas del biogás son dañinas a la atmósfera ya que es un gas de efecto invernadero.

- **Mantenimiento del biodigestor:** Esta acción contempla el mantenimiento preventivo y correctivo del biodigestor, el preventivo se realizará por los operarios de dos a tres veces al año o cuando se estime conveniente por el encargado de la planta para asegurar un funcionamiento óptimo del reactor, este se realizará por medio de la limpieza total del biodigestor, mantenimiento de las tuberías, revisión y limpieza de la geomembrana, entre otros. El correctivo se realizará cada vez que ocurra una falla en el proceso o cuando el jefe de la planta lo estime adecuado.
- **Envasado del biofertilizante:** Esta parte del proceso se hará al final cuando se descargue el líquido restante de la biodegradación de los desechos por medio de la tubería de salida del biodigestor; éste líquido es aprovechable como fertilizante y será envasado en barriles acondicionados para su almacenamiento etiquetados con el día de su envasado y su número de lote.
- **Almacenamiento temporal del biofertilizante:** El biofertilizante ya almacenado en los barriles se transportará por medio de carretillas a la bodega de subproducto donde estará de manera temporal para su posterior uso o comercialización; es de asegurar de que el almacenado en la bodega sea de forma que se mantenga las PEPS (primeras entradas primeras salidas) para no acumular biofertilizante viejo.

- a) Carácter del impacto:** Se establece si el cambio en relación al estado previo de cada acción en las etapas de construcción y operación de la planta de producción de biogás es positivo o negativo.
- b) Intensidad:** Se refiere al vigor con que se manifiesta el cambio en el medio ambiente por las acciones de la planta de producción de biogás dando un valor mínimo de cero si no hay mayor cambio y un máximo de diez si el cambio es evidente.
- c) Extensión o influencia espacial:** Es la superficie afectada por las acciones de la planta de producción de biogás tanto directa como indirectamente o el alcance que puede ser

muy local, local o generalizado sobre el componente ambiental. La escala de valoración es la siguiente (ver Tabla 8).

**Tabla 8. Extensión o influencia espacial.**

Extensión	Valoración
Generalizado	10
Local	5
Muy local	2

**Fuente: FAO, (1995).**

d) **Duración del cambio:** Establece el período de tiempo durante el cual las acciones propuestas involucran cambios ambientales. Se utilizó la siguiente pauta (Ver Tabla 9).

**Tabla 9. Duración del cambio.**

Duración (años)	Plazo	Valoración
>10	LARGO	10
5-10	MEDIANO	5
1-5	CORTO	2

**Fuente: FAO, (1995).**

e) **Magnitud:** Es un indicador que sintetiza la intensidad, duración e influencia espacial. Es un criterio integrado, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$M_i = \sum[(I_i * W_I) + (E_i * W_E) + (D_i * W_D)] \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

M<sub>i</sub>: Índice de Magnitud del efecto i.

I: intensidad.

E: extensión.

D: duración.

$W_i$ : peso del criterio intensidad.

$W_E$ : peso del criterio extensión.

$W_D$ : peso del criterio duración.

$$W_I + W_E + W_D = 1$$

- f) **Reversibilidad:** Capacidad del sistema de retornar a una situación de equilibrio similar o equivalente a la inicial. (Ver Tabla 10).

**Tabla 10. Valor de reversibilidad.**

Categoría	Capacidad de reversibilidad	Valoración
Irreversible	Baja o Irrecuperable	
	Impacto puede ser reversible a muy largo plazo (50 años o más)	10
Parcialmente Reversible	Media. Impacto reversible a largo plazo.	5
Reversible	Alta. Impacto reversible a corto plazo ( 0-10 años)	2

**Fuente: FAO, (1995).**

- g) **Riesgo:** Se refiere a la probabilidad de ocurrencia del efecto sobre la globalidad del componente. Se valora según la siguiente escala. (Ver Tabla 11).

**Tabla 11. Riesgo.**

Probabilidad	Rango (%)	Valoración
ALTA	>50	10
MEDIA	10 - 50	5
BAJA	1 - 10	2

**Fuente: FAO, (1995).**

- h) **El índice integral de impacto ambiental VIA:** El índice de impacto se logra a través de un proceso de cálculo, mediante una expresión matemática que integra los criterios anteriormente detallados. Su fórmula es la siguiente:

$$VIA_i = \Pi[R_i^{wr} * RG_i^{wrg} * M_i^{wm}] \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

VIA: Índice de Impacto para el componente o variable i.

R: reversibilidad.

RG: riesgo.

M: magnitud.

wr: peso del criterio reversibilidad.

wrg: peso del criterio riesgo.

wm: peso del criterio magnitud.

Además  $wr + wrg + wm = 1$

- i) **Pesos:** Los pesos relativos asignados a cada uno de los criterios corresponden a los siguientes, estos pesos son inherentes al método:

$$W_i = 0.40$$

$$W_E = 0.40$$

$$W_D = 0.20$$

$$wr = 0.22$$

$$wrg = 0.17$$

$$wm = 0.61$$

- j) **Significado:** Se refiere a la importancia relativa o al sistema de referencia utilizado para evaluar el impacto, es decir, que tanto impacta la realización de la acción al medio ambiente. Consiste en clasificar el Índice o VIA obtenido, según las siguientes categorías (Ver Tabla 12).



**Tabla 12. Significado del valor.**

<b>Indice</b>	<b>Nivel o significado</b>
>8.0	MUY ALTO
6.0 – 8.0	ALTO
4.0 – 6.0	MEDIO
2.0 – 4.0	BAJO
<2.0	MUY BAJO

**Fuente: FAO, (1995).**

Tomando como referencia la Tabla 12, se realiza un análisis sobre la base del valor VIA que se ha obtenido, permitiendo evaluar el impacto ambiental que la implementación de la planta de producción de biogás ocasionará tanto en su fase de operación como construcción sobre el medio ambiente que lo rodea.

### **2.5.2 Percepción de la comunidad universitaria.**

Para la evaluación del impacto social se realizó un sondeo para conocer la percepción de la comunidad universitaria acerca del tratamiento de los desechos sólidos orgánicos de la UES por medio de la instalación de una planta de producción de biogás. Para realizar el sondeo se utilizó el método de la encuesta, esta fue difundida de manera virtual por medio de las redes sociales subiendo la encuesta a grupos de Facebook creados por los estudiantes de la Universidad de El Salvador para fines académicos, garantizando así que dicha encuesta fuese contestada únicamente por la población universitaria,

Se utilizó el muestreo aleatorio simple ya que todos los universitarios tenían la misma oportunidad de contestar la encuesta, esto debido a que es difícil controlar el número de personas que contestarían no se estimó un tamaño de muestra sino que se calculó el error de la muestra resultante para verificar si la muestra tomada es representativa y así darle validez al método.

Conociendo que la población universitaria es aproximadamente de 50,000 personas para el cálculo del error muestral (E) utilizando un nivel de confianza del 95% (Z= 1.96) se utilizó el método de población finita ver Ec.23 (Bustamante ,2011):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * p * q} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

n: tamaño de muestra.

Z: nivel de confianza.

p: variabilidad positiva.

q: variabilidad negativa.

N: población.

E: error muestral.

En esta investigación para determinar el error muestral se tomó una variabilidad de p=q= 0.5 y un tamaño de muestra igual a la cantidad de personas que contestaron la encuesta.

### **3.0 RESULTADOS.**

En este capítulo se presentan tanto los resultados obtenidos de la investigación bibliográfica, como de campo que se realizó para poder presentar la propuesta de diseño del biodigestor para la Universidad de El Salvador.

#### **3.1 DATOS DE RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.**

Como se explicó en la sección 2.1, para caracterizar los desechos de la UES se seguirá la metodología de Nuñez et al (2000), en este marco se presentan los resultados obtenidos a continuación.

##### **3.1.1 Determinación de número de muestras a tomar.**

En esta sección se muestran los datos obtenidos en la prueba piloto. Los primeros datos son los pesos de cada componente tomados previo al cuarteo hecho a la muestra que se tomó en cada basurero. Se tomó 10 libras para el depósito de Valencia y 8.75 libras para el depósito de ingeniería, se tomaron pesos diferentes debido a que el día en que se realizó la prueba piloto en el depósito de ingeniería se encontraba con muy pocos desechos sólidos. El resumen de los pesos se enlista a continuación (Ver Tabla 13).

**Tabla 13. Pesos de los residuos sólidos de la prueba piloto en la Universidad de El Salvador.**

<b>Categoría</b>	<b>Ingeniería (lb)</b>	<b>Valencia(lb)</b>	<b>Total (lb)</b>
<b>Papel y Cartón</b>	1	1.8	2.8
<b>Plástico</b>	2	2	4
<b>Vidrio</b>	0	0	0
<b>Metales</b>	0.25	0.056	0.306
<b>Madera</b>	0	0	0
<b>R. Jardín</b>	4	3	7
<b>R. Comida</b>	1	3	4
<b>Otros</b>	0.5	0.14	0.64
<b>TOTAL</b>	<b>8.75</b>	<b>10</b>	<b>18.75</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Luego de haber obtenido la muestra se calculan las proporciones de los residuos sólidos de la prueba piloto en la Universidad de El Salvador (xi), para luego obtener la media de las proporciones de los dos depósitos con la Ec.2 de la sección 2.1. (Ver Tabla 14).

**Tabla 14. Proporciones de residuos sólidos de la prueba piloto y medias aritméticas por componente.**

<b>Categoría</b>	<b>Ingeniería (xi)</b>	<b>Valencia (xi)</b>	<b>Media (X)</b>
<b>Papel y Cartón</b>	0.114	0.180	0.147
<b>Plástico</b>	0.229	0.200	0.214
<b>Vidrio</b>	0.000	0.000	0.000
<b>Metales</b>	0.029	0.006	0.017
<b>Madera</b>	0.000	0.000	0.000
<b>R. Jardín</b>	0.457	0.300	0.379
<b>R. Comida</b>	0.114	0.300	0.207
<b>Otros</b>	0.057	0.014	0.036
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	

**Fuente: Elaboración propia.**

Se presenta el cálculo de la varianza muestral con la Ec. 3 de la sección 2.1 para posteriormente calcular la desviación, ambos para cada componente. (Ver Tabla 15)

**Tabla 15. Varianza y Desviación para cada componente.**

Componente	Papel y Cartón			Plástico			Metales		
	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>
Dep. Ingeniería	0.1143	-0.0329	0.0011	0.2286	0.0143	0.0002	0.0286	0.0115	0.0001
Dep. Valencia	0.1800	0.0329	0.0011	0.2000	-0.0143	0.0002	0.0056	-0.0115	0.0001
Sumatoria			0.0022			0.0004			0.0003
Varianza muestral			<b>0.0011</b>			<b>0.0002</b>			<b>0.0001</b>
Desviación			<b>0.0329</b>			<b>0.0143</b>			<b>0.0115</b>
Componente	Residuos jardín			Residuos comida			Otros		
	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>	Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>
Dep. Ingeniería	0.4571	0.0786	0.0062	0.1143	-0.0929	0.0086	0.0571	0.0216	0.0005
Dep. Valencia	0.3000	-0.0786	0.0062	0.3000	0.0929	0.0086	0.0140	-0.0216	0.0005
Sumatoria			0.0123			0.0172			0.0009
Varianza muestral			<b>0.0062</b>			<b>0.0086</b>			<b>0.0005</b>
Desviación			<b>0.0786</b>			<b>0.0929</b>			<b>0.0216</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

En la Tabla 16 se presenta un resumen de cálculo de media y desviación para cada componente:

**Tabla 16. Resumen de Medias y Desviación de los residuos sólidos de la UES.**

<b>Categoría</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación</b>
<b>Papel y Cartón</b>	0.147	0.033
<b>Plástico</b>	0.214	0.014
<b>Vidrio</b>	0.000	0.000
<b>Metales</b>	0.017	0.011
<b>Madera</b>	0.000	0.000
<b>R. Jardín</b>	0.379	0.079
<b>R. Comida</b>	0.207	0.093
<b>Otros</b>	0.036	0.022
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>0.252</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Tomando un nivel de confianza del 95% ( $Z=1.96$ ) y un porcentaje de error de 5% ( $E=0.05$ ). Se tiene el número de muestras por componente (ver Tabla 17).

**Tabla 17. Tamaño de muestra de los residuos sólidos de la UES.**

<b>Categoría</b>	<b>Desviación</b>	<b>Tamaño de muestra</b>
<b>Papel y Cartón</b>	0.033	1.659
<b>Plástico</b>	0.014	0.314
<b>Vidrio</b>	0.000	0.000
<b>Metales</b>	0.011	0.203
<b>Madera</b>	0.000	0.000
<b>R. Jardín</b>	0.079	9.486
<b>R. Comida</b>	0.093	13.250
<b>Otros</b>	0.022	0.715
<b>Total</b>		<b>25.626</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Con la prueba piloto y el análisis a las muestras tomadas se determina que el número total de muestras a tomar es de 26 muestras.

### 3.1.2 Determinación de la composición de los desechos sólidos generados en la Universidad de El Salvador.

El plan de muestreo para la determinación de los residuos sólidos generados en la Universidad de El Salvador se obtuvo, tomando en cuenta que son dos zonas de recolección y disposición final. El número total de muestras se dividió entre dos por ser el número total de contenedores activos y se tomó una muestra por día en un período de trece días.

Tomadas las 26 muestras se procedió a calcular la fracción en peso de cada componente para cada una de las muestras, posteriormente se calculó la media de las fracciones en peso obtenidas para cada componente. A continuación se muestran los resultados obtenidos en porcentajes para los dos depósitos de la Universidad (Ver Tabla 18 y Tabla 19).

**Tabla 18. Porcentajes de los desechos sólidos en los contenedores de la UES.**

Componentes	Contenedor Ingeniería y Arquitectura	Contenedor Valencia	Promedio de los porcentaje de los desechos sólidos de la Universidad de El Salvador.
Plástico	22.5	23.2	22.9
Residuos de Jardín	20.5	14.7	17.6
Residuos de Comida	24.7	29.7	27.2
Papel y Cartón	21.8	23.8	22.8
Metales	2.0	1.4	1.7
Madera	2.4	0.5	1.45
Vidrio	1.5	2.4	1.95
Otros	4.5	4.3	4.4
	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.1.3 Cálculo de porcentajes de los desechos en la cafetería.

En la Tabla 19 se detallan las proporciones de desechos sólidos provenientes de las cafeterías:

**Tabla 19. Porcentajes promedio de los desechos sólidos de la cafetería de la Universidad de El Salvador.**

<b>Categoría</b>	<b>Depósito 1 (kg)</b>	<b>Depósito 2 (kg)</b>	<b>Total (kg)</b>	<b>Proporciones</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Residuos de comida</b>	73.942	210.570	284.512	0.730	73
<b>Vidrio</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0
<b>Papel y Cartón</b>	4.897	6.920	11.817	0.030	3
<b>Madera</b>	24.000	6.000	30.000	0.077	7.7
<b>Metales</b>	0.000	0.900	0.900	0.002	0.2
<b>Plástico</b>	18.165	15.960	34.125	0.088	8.8
<b>Residuos de jardín</b>	0.000	0.800	0.800	0.002	0.2
<b>Otros</b>	20.996	6.850	27.846	0.071	7.1
<b>Total</b>	<b>142</b>	<b>248</b>	<b>390</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Los datos obtenidos muestran un panorama del porcentaje de los residuos sólidos generados actualmente en la cafetería universitaria, se puede evidenciar que los residuos de comida se generan en mayor cantidad, estos pueden utilizarse para generación de biogás por medio de un tratamiento de digestión anaerobia

## 3.2 DISEÑO DEL BIODIGESTOR.

### 3.2.1 Cálculo de los Residuos orgánicos diarios.

Los residuos generados en la Universidad de El Salvador en las diferentes áreas, se presentan en la Tabla 20.



**Tabla 20. Residuos generados en contenedores y cafeterías diariamente.**

<b>Área</b>	<b>Residuos Sólidos(kg/día)</b>
<b>Contenedores</b>	2,050
<b>Cafeterías</b>	390
<b>Total</b>	<b>2,440</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

A partir de los cuales se procedió a calcular la cantidad de residuos orgánicos diarios que provienen tanto de las cafeterías como de los contenedores.

Sustituyendo en la ecuación 5 de la sección 2.2 se tiene:

$$MC = 0.272 * 2050 \text{ kg} + 0.73 * 390 \text{ kg}$$

La cantidad de residuos comida que se genera en la Universidad es:

$$MC = 842.3 \text{ kg}$$

De la misma manera se obtienen la cantidad de residuos de jardín

$$MJ = 0.176 * 2050 \text{ kg} + 0.0021 * 390$$

La cantidad total de residuos de Jardín

$$MJ = 361.62 \text{ kg}$$

Utilizando la ecuación 4 (sección 2.2) la cantidad de materia orgánica disponible en la Universidad de El Salvador es:

$$MO = 842.3 \text{ kg} + 361.62 \text{ kg}$$

Realizando la operación

$$MO = 1203.92 \text{ kg/día}$$

### 3.2.2 Cálculo de la carga del biodigestor.

Para el cálculo de la carga del biodigestor se procede a encontrar las cantidades de residuos de jardín y residuos comida necesarios tomando una relación Carbono-Nitrógeno C/N de 30:1, como se mencionó en la sección 2.2.1. Se tomó una alimentación de 900 kg de materia prima donde se puede determinar la cantidad de residuos de comida ( $X_c$ ) y los residuos de Jardín ( $X_j$ ).

Sustituyendo la ecuación 7

$$30 = \frac{54.19(X_c) + 52.11(X_j)}{1.688(X_c) + 2.747(X_j)}$$

$$900 = X_c + X_j$$

Para determinar la cantidad de biomasa de entrada al biodigestor (900 kg), la ecuación 7 se sometió a un proceso iterativo debido a que las soluciones de dicho sistema de ecuaciones, estaban limitadas a la disponibilidad total de residuos de comida ( $X_c$ ) y residuos de jardín ( $X_j$ ) con los que se contaba.

Resolviendo la ecuación 7 se tiene:

$$X_c = 805.612 \text{ kg}$$

$$X_j = 94.388 \text{ kg}$$

Con esos datos se determinó que la alimentación diaria al biodigestor es de 805.612 kg de residuos de comida y 94.388 kg de residuos de jardín, con esto se asegura que los valores no sobrepasan la disponibilidad de materia prima y se asegura el adecuado abastecimiento de la misma.

### 3.2.3 Porcentaje de Sólidos Totales y cálculo de la cantidad de agua.

Conociendo la humedad de los residuos de comida presentada en la sección 2.2 y con la ecuación 11 se procede al cálculo de sólidos secos de residuos de comida

$$(S_{sc}) = 805.61 \text{ kg} (1 - 0.7983) = 162.421 \text{ kg secos}$$

De similar manera se obtienen los sólidos secos de residuos de jardín

$$(S_{sj}) = 94.388 \text{ kg} (1 - 0.7843) = 20.4673 \text{ kg secos}$$

Donde el total de sólidos secos ( $S_s$ ) se calcula así:

$$S_s = 162.421 \text{ Kg} + 20.4673 \text{ kg} = 182.888 \text{ kg}$$

Obteniendo la masa total de sólidos secos se procede a calcular el agua necesaria para lograr el 8% de sólidos totales.

$$ST = 8\% = \frac{182.888 \text{ kg}}{(900 \text{ Kg} + M_{\text{agua}})}$$

Resolviendo por método algebraico se tiene:

$$M_{\text{agua}} = 1386.100 \text{ Kg}$$

La cantidad de carga diaria se calcula con la ecuación 12 de la siguiente manera:

$$M_{\text{carga}} = 900 \text{ Kg} + 1386.100 \text{ Kg} = 2286.100 \text{ Kg}$$

### 3.2.4 Dimensionamiento del biodigestor.

Según la metodología presentada en la sección 2.2.1, el primer paso es calcular el volumen de carga del biodigestor utilizando la ecuación 13:

$$V_{\text{carga}} = \frac{m}{\rho} = \frac{2286.100 \text{ kg}}{1080 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2.1167 \text{ m}^3$$

Calculando el volumen del líquido con la ecuación 14:

$$V_{\text{líquido}} = 2.1167 * 10 \text{ días} = 21.16 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Obteniendo el volumen del líquido, se calcula el volumen del gas con la ecuación 15:

$$V_{gas} = \frac{1}{3} V_{líquido} = \frac{1}{3} * 21.16 = 7.053 m^3$$

Calculando el volumen de la cámara de fermentación (Volumen total), haciendo la estimación con la ecuación 16:

$$V_{cámara\ de\ fermentación} = (21.16 + 0.05 * (21.16) + 7.053) m^3 = 29.271 m^3$$

Para el cálculo de otros parámetros de diseño (Longitud y diámetro) se asume que el volumen total del biodigestor se aproxima a la forma de un cilindro y con una relación óptima de L/D de 5 con la ecuación 17 de la sección 2.2 se obtiene el diámetro y la longitud del biodigestor.

Diámetro (D) = 1.9534m

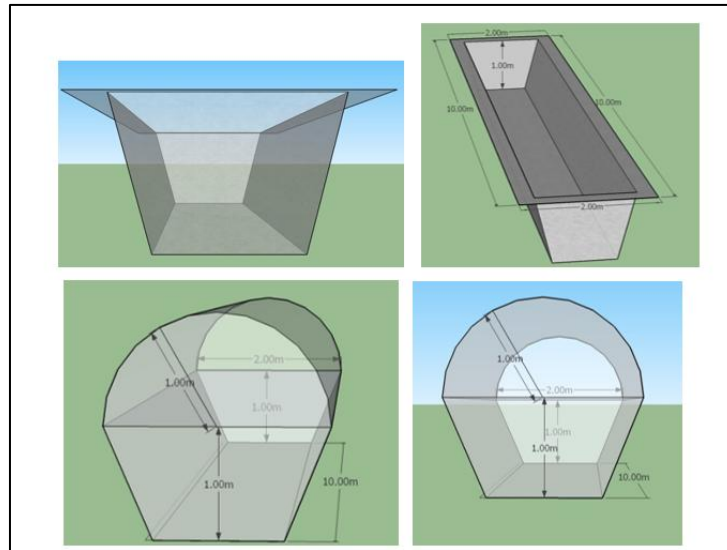
Longitud (L) de = 9.7670 m

Tomando en cuenta que la producción de biogás puede aumentar esto debido a que puede aumentar la cantidad de residuos sólidos orgánicos, se dejará una holgura donde redefiniendo el diámetro y la longitud quedan:

D= 2.0 m

L= 10.0 m

Para la entrada de materia prima y la salida del biofertilizante se deberán disponer dos canales con una inclinación de 45° para facilitar el flujo de la materia por gravedad. El dimensionamiento del biodigestor se presenta en la siguiente figura:



**Figura 3.1. Dimensionamiento del biodigestor propuesto.**

**Fuente: elaboración propia.**

La cantidad diaria de biogás que se podría producir se obtiene aplicando la ecuación 19

$$R = m_{seca} * 0.0117 \frac{m^3}{Kg \text{ seco}}$$

$$R = 2.1397 \frac{m^3}{día} \text{ Biogás}$$

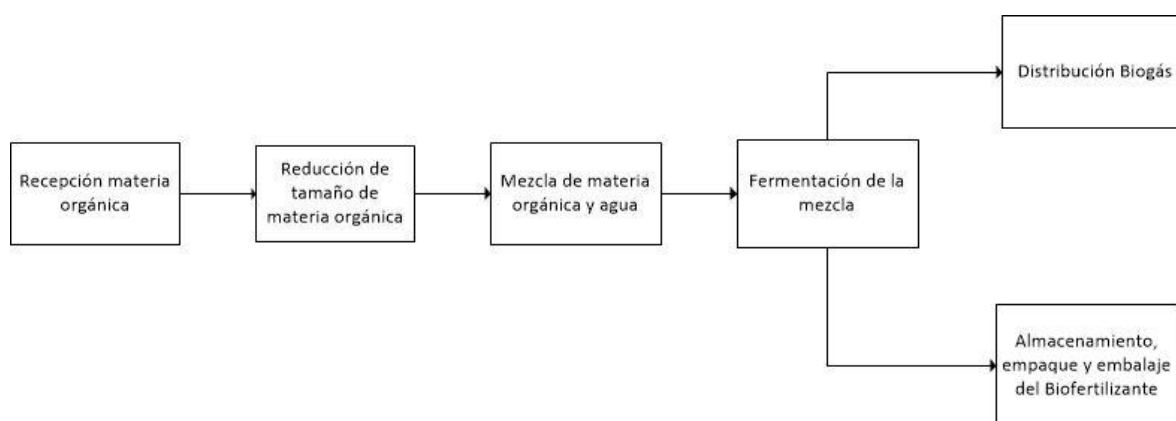
Asimismo el cálculo de la cantidad de biofertilizante se hizo con la ecuación 20 de la sección 2.2.

$$2286.1 = 2.1397 \frac{m^3}{día} * 1.08 \frac{kg}{m^3} + m_{fertilizante}$$

$$m_{fertilizante} = 2283.79 \frac{kg}{día}$$

### 3.2.5 Descripción del proceso.

En el proceso para la generación de biogás existen diferentes flujos de entrada y salida, donde en un tanque de almacenamiento entra la materia prima (biomasa), previamente sometida a un proceso de triturado con el objetivo reducir su tamaño y mejorar la acción de las bacterias metanogénicas; mezclándose con agua para dar un porcentaje de sólidos totales del 8% y así asegurar una óptima reacción de la materia orgánica, posteriormente pasaran al reactor (biodigestor) conducida por una red de tubería utilizando la gravedad; sometiéndose a fermentación metanogénica en la etapa final de la reacción, los compuestos intermedios formados en las etapas anteriores se rompen para generar un producto principal (biogás) que será distribuido por una red de tuberías hasta su destino. El efluente es un producto secundario que tendrá su disposición en un tanque, éste servirá para recoger la mezcla digerida, la cual servirá como bioabono que se almacenará en una bodega para su posterior empaque y embalaje; en la figura 3.2 se muestra el esquema del proceso para la producción de biogás.

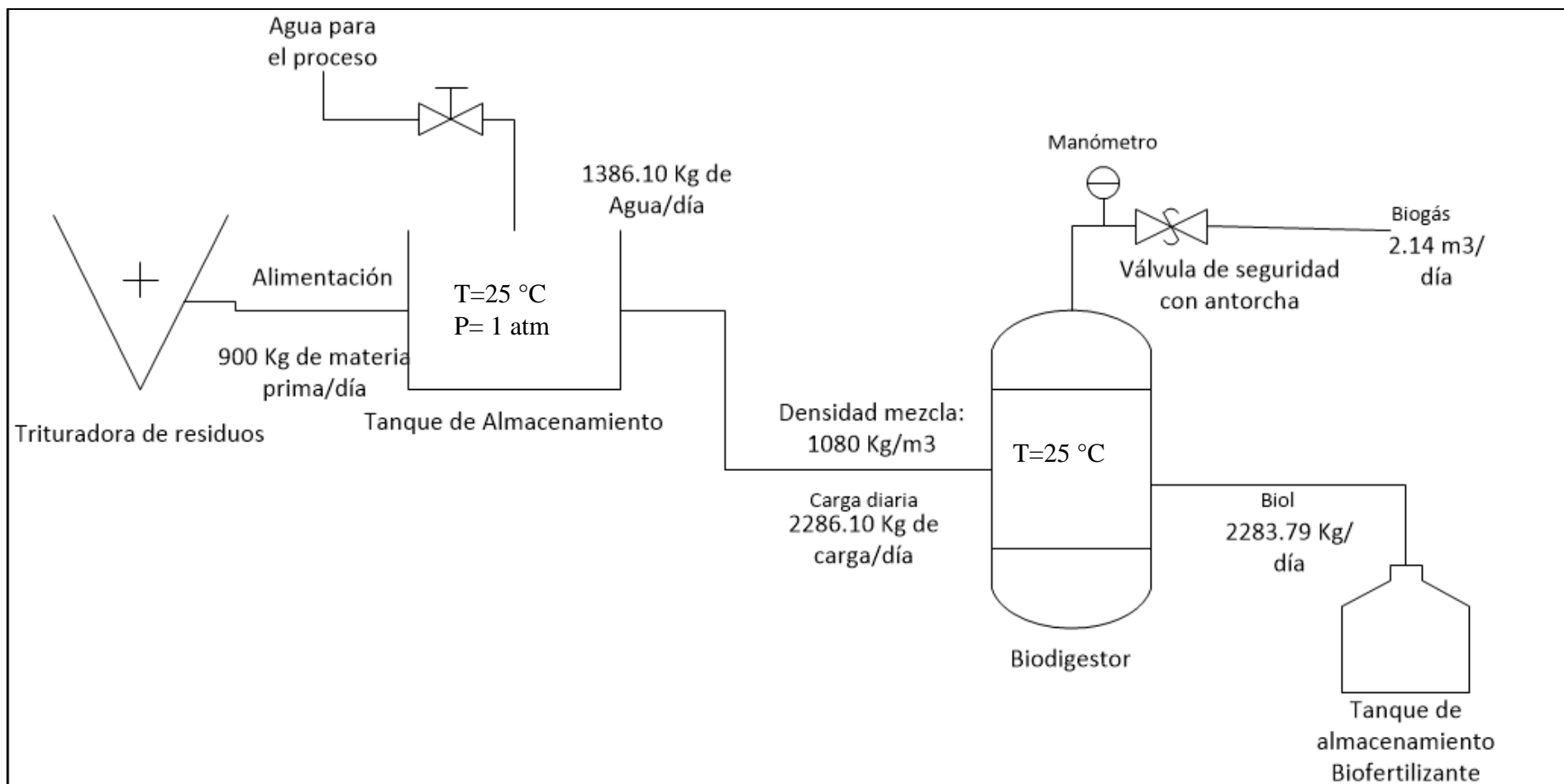


**Figura 3.2. Diagrama de proceso para la generación de biogás.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.2.6 Balance del proceso.**

Como entrada al proceso se recibe la materia prima proveniente de los depósitos de basura establecidos en la Universidad de El Salvador; se generan 1200 kg/día de residuos orgánicos, de los cuales 900 kg/día se tomarán como base de cálculo teniendo en cuenta que la cantidad de basura puede disminuir o aumentar en un determinado período de tiempo; considerando la relación carbono-nitrógeno de 30:1 como la relación a la que se obtiene la máxima cantidad de biogás, se estima que la cantidad de residuos de comida necesarios para suplir la demanda diaria para cargar el biodigestor es de 805.612 kg/ día, siendo la cantidad necesaria de residuos de jardín de 94.388 kg/día. Para obtener la mezcla idónea para llevar a cabo la reacción se necesita agregar agua para asegurar un porcentaje de sólidos totales recomendado consecuentemente se tendrá una cantidad de agua a agregar de 1.39 m<sup>3</sup>/día, utilizando la densidad de la mezcla se conoce que el volumen de carga al biodigestor es de 2.1167 m<sup>3</sup>/ día, el tiempo de retención será de 10 días para luego obtener dos salidas, el biogás generado y el biofertilizante líquido (ver figura 3.3).



**Figura 3.3. Diagrama de flujos de entrada y salidas del proceso de producción de biogás en la UES.**

**Fuente: Elaboración propia.**



### 3.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.

#### 3.3.1 Resultado del método de factores ponderados.

A continuación se presenta la evaluación por el método de los factores ponderados a las tres opciones consideradas en la sección 2.3.1 para la elección de la mejor ubicación de la planta (ver tabla 21)

**Tabla 21. Resultados de aplicación del método.**

Factores	Pesos (%)	Lugares		
		A	B	C
Accesibilidad de materia prima	25	50	50	100
Disponibilidad de insumos (agua, electricidad, etc.)	5	100	100	50
Cercanía al lugar del destino del biogás	20	50	100	0
Facilidad del almacenamiento del subproducto	10	50	50	100
Topografía del Sitio	15	50	100	100
Factores Ambientales	20	0	50	50
Riesgo por falla o desperfectos	5	50	50	50
<b>Total</b>	100	47.5	70	65

**Fuente: Elaboración propia.**

Las opciones consideradas fueron las siguientes:

Opción A: entre la unidad de desarrollo vehicular y la concha acústica, contiguo a la estación meteorológica.

Opción B: frente al edificio de CENSALUD, a un costado de la planta piloto.

Opción C: contiguo al depósito de desechos sólidos de la facultad de ingeniería y arquitectura.

### **3.4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA).**

Para la EIA se sigue la metodología del Valor del Impacto Ambiental (VIA) expuesta en la sección 2.5.1, elaborándose índices de impacto ambiental para cada efecto identificado en cada matriz de acciones (FAO, 1995).

En la etapa de construcción de la planta de biogás se ha identificado los desechos y emisiones más predominantes:

- Residuos de concreto
- Bloques
- Tierra
- Tuberías
- Emisiones de polvo

Para la etapa de operación se identificó residuos y emisiones de gases que pueden afectar la salud humana y pueden provocar contaminación al medio, como:

- Emisión de Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ ).
- Emisión de Metano ( $CH_4$ ).
- Emisión de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ).
- Emisión de Amoníaco ( $NH_3$ ).
- Residuos generados en el área de control del proceso.

#### **3.4.1 Matriz de evaluación del impacto ambiental.**

Para identificar el Valor del Impacto Ambiental por medio de los criterios integrados se realizó una matriz donde las acciones del proceso se ubicaron en las columnas y en las filas la calificación de los efectos, para luego evaluar la importancia relativa, que consiste en evaluar el VIA obtenido. (Ver tabla 22 y 23)

Etapa de construcción.

**Tabla 22. Matriz de la Evaluación del Impacto Ambiental para la etapa de construcción.**

	Acciones	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Magnitud	Reversibilidad	Riesgo	VIA
<b>Etapa de Construcción del Proyecto</b>	Preparación del Terreno	Negativo	8	2	2	4.4	2	2	3.24
	Excavación de la zanja	Negativo	10	2	2	5.2	5	2	4.38
	Acondicionamiento y relleno de la zanja	Negativo	7	2	2	4	5	2	3.73
	Construcción del depósito de mezcla	Negativo	8	2	2	4.4	5	2	3.96
	Reforestación del terreno	Positivo	9	2	2	4.8	5	2	4.17
	Construcción área de control de proceso	negativo	9	2	2	4.8	5	2	4.17
	Construcción de bodega de subproducto	negativo	8	2	2	4.4	5	5	4.62

**Fuente: Elaboración propia.**

Etapa de operación.

**Tabla 23. Matriz de la Evaluación del Impacto Ambiental para la etapa de operación.**

	Acciones	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Magnitud	Reversibilidad	Riesgo	VIA
Etapa de Operación de la planta	Recepción de materia prima	Negativo	10	5	10	8	2	5	5.44
	Alimentación de la materia prima al sistema	Negativo	8	2	10	6	5	2	4.78
	Producción del Biogás	Negativo	10	2	10	6.8	5	10	6.79
	Mantenimiento del biodigestor	Negativo	9	2	10	6.4	2	10	5.35
	Envasado del Biofertilizante	Negativo	6	2	10	5.2	2	5	4.19
	Almacenamiento temporal de Biofertilizante	Negativo	8	2	10	6	5	5	5.59

**Fuente: Elaboración propia.**

En la Tabla 24 se presenta el significado de cada valor del impacto ambiental calculado, en cada una de las acciones durante las dos etapas.

**Tabla 24. Significado del VIA para cada acción.**

<b>Acciones</b>	<b>VIA</b>	<b>Significado</b>
<b>Preparación del Terreno</b>	3.24	BAJO
<b>Excavación de la zanja</b>	4.38	MEDIO
<b>Acondicionamiento y relleno de la zanja</b>	3.73	BAJO
<b>Construcción del depósito de mezcla</b>	3.96	BAJO
<b>Reforestación del terreno</b>	4.17	MEDIO
<b>Construcción área de control de proceso</b>	4.17	MEDIO
<b>Construcción de bodega de subproducto</b>	4.62	MEDIO
<b>Recepción de materia prima</b>	5.44	MEDIO
<b>Alimentación de la materia prima al sistema</b>	4.78	MEDIO
<b>Producción del Biogás</b>	6.79	ALTO
<b>Mantenimiento del biodigestor</b>	5.35	MEDIO
<b>Envasado del Biofertilizante</b>	4.19	MEDIO
<b>Almacenamiento temporal de Biofertilizante</b>	5.59	MEDIO

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.4.2 Percepción del Proyecto por la Comunidad Universitaria.

Para conocer la percepción de la población de la Universidad con respecto a la realización del proyecto la Universidad y en la comunidad universitaria, se procedió a la consulta pública por medio del método de la encuesta. En dicho método se realizaron preguntas de índole social, el total de personas que contestaron la encuesta fue de 300 de las diferentes facultades de la Universidad de El Salvador con este tamaño de muestra, con la población universitaria de 50,000 personas y con la variabilidad de 0.5, se calculó el error muestral con la ecuación 23 de la sección 2.5.2, sustituyendo los valores se tiene:

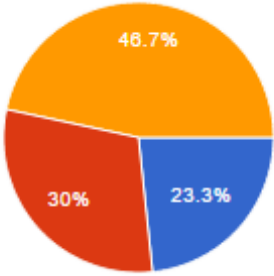
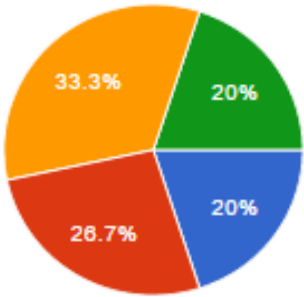
$$300 = \frac{(1.96)^2 * (0.5) * (0.5) * (50,000)}{(50,000 - 1) * E^2 + (1.96)^2 * (0.5) * (0.5)}$$

Por método algebraico se estima el error muestral y multiplicando por cien para obtenerlo porcentual se tiene

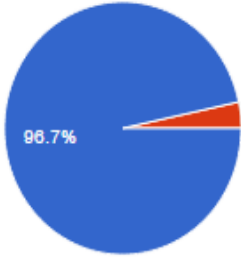
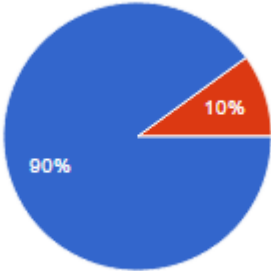
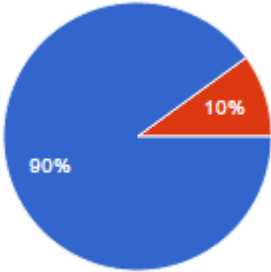
$$E = 0.0564 * 100 = 5.64\%$$

En la encuesta básicamente se preguntó sobre como percibiría la comunidad universitaria la instalación de una planta de tratamiento; además de preguntas para determinar el grado de conocimiento que existe acerca del tratamiento de desechos sólidos dentro del recinto universitario. A continuación se presenta en la Tabla 25 el consolidado de datos que fueron recolectados:

**Tabla 25. Resultados de encuesta realizada.**

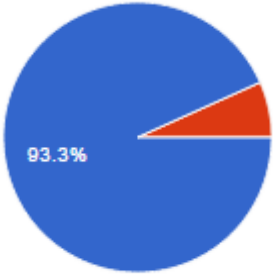
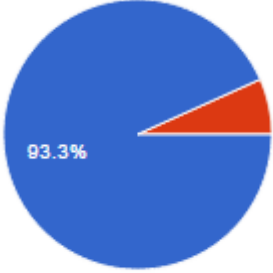
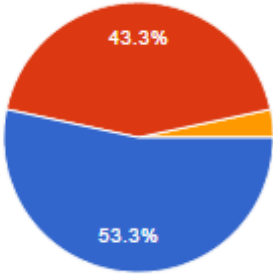
¿Cuánto conoce usted sobre la gestión de los desechos sólidos en la Universidad de El Salvador?		
Opciones	% de respuesta	
<b>Mucho</b>	23.3	
<b>Poco</b>	30	
<b>Nada</b>	46.7	
¿Qué percepción tiene acerca de las organizaciones que tienen política de gestión de desechos sólidos?		
Opciones	% de respuesta	
<b>Excelente</b>	20	
<b>Muy Buena</b>	26.7	
<b>Buena</b>	33.3	
<b>Mala</b>	20	

**Continuación de Tabla 25. Resultados de encuesta realizada.**

¿Estaría de acuerdo con el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos en la Universidad de El Salvador?		
<b>Opciones</b>	<b>% de respuesta</b>	
<b>Si</b>	96.7	
<b>No</b>	3.3	
¿Estaría de acuerdo con la instalación de una planta de tratamiento de desechos sólidos orgánicos dentro de la Universidad?		
<b>Opciones</b>	<b>% de respuesta</b>	
<b>Si</b>	90	
<b>No</b>	10	
¿Qué impacto le genera la instalación de dicha planta dentro de la Universidad?		
<b>Opciones</b>	<b>% de respuesta</b>	
<b>Positivo</b>	90	
<b>Negativo</b>	10	



**Continuación de Tabla 25. Resultados de encuesta realizada.**

De existir un programa de disposición de desechos en la Universidad, ¿lo cumpliría?		
Opciones	% de respuesta	
<p align="center"><b>Si</b></p> <p align="center"><b>No</b></p>	<p>93.3</p> <p>6.7</p>	
¿Considera usted que la implementación de una planta de tratamiento de desechos sólidos dentro de la Universidad, contribuye al compromiso que esta tiene con el Medio Ambiente?		
Opciones	% de respuesta	
<p align="center"><b>Si</b></p> <p align="center"><b>No</b></p> <p align="center"><b>Para Nada</b></p>	<p>93.3</p> <p>6.7</p> <p>0</p>	
¿Cuánto considera que afectaría al ornato de la Universidad la instalación de una planta de tratamiento de desechos sólidos?		
Opciones	% de respuesta	
<p align="center"><b>Mucho</b></p> <p align="center"><b>Poco</b></p> <p align="center"><b>Nada</b></p>	<p>53.3</p> <p>43.3</p> <p>3.3</p>	

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.

La evaluación económica del proyecto tiene como finalidad determinar la rentabilidad de la implementación del biodigestor en la Universidad de El Salvador.

En este apartado lo primero que se hizo fue definir los beneficios y costos del proyecto para luego hacer un análisis económico, debe tomarse en cuenta los recursos necesarios para el buen funcionamiento del proyecto y los recursos para la instalación y construcción del biodigestor.

#### 3.5.1 Costos del Proyecto.

En la determinación de los costos se tomó en cuenta principalmente las fases de construcción y equipamiento del proyecto, asimismo se enlistarán los costos de operación, mantenimiento, planillas y demás costos asociados al emplazamiento de la planta, estos se detallan en las Tablas 26, 27 y 28.

**Tabla 26. Costos de inversión del Biodigestor.**

<b>COSTOS DE INVERSION DEL BIODIGESTOR FLEXIBLE</b>			
<b>Primera fase</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Cemento(bolsas)</b>	100	7.02	702
<b>Arena (m<sup>3</sup>)</b>	9	11.24	101.15
<b>Grava #1 (m3)</b>	9	29.65	266
<b>Varilla de Hierro(6m pza)</b>	240	1.02	244.25
<b>Ladrillo (Block 20x20x40)</b>	450	0.51	230.27
<b>Mano de Obra</b>	8	300	1600
<b>Tubería PVC ( ½”pza)</b>	5	1.53	7.65
<b>Tubería PVC (4” pza)</b>	5	14.8	74
<b>Tubería PVC (1” pza)</b>	5	3.38	16.90
<b>Válvula de bola(1/2”)</b>	5	3.67	18.36
<b>Válvula de bola(1”)</b>	5	11.06	55.31
<b>Válvula de bola(4”)</b>	2	35	70
<b>Trampa de Agua</b>	1	50	50
<b>Codos PVC (1/2” )</b>	25	0.12	3.10

Codos PVC (1")	25	0.49	12.17
Geomembrana(m2) MACCAFERRI	50	6	300
Agitadores	2	2350	4700
Triturador TR500 TRAPP	1	3500	3500
Manguera Flex (ft)	10	1.35	13.5
Válvula de alivio	1	13	13
Manómetro	1	6	6
Tubo de malla (2")	25	15.49	387.17
Malla Ciclón (Yarda)	100	6.51	651.33
Báscula para peso de materia prima.	1	2000	2000
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>\$15,022.16</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Costos de equipo del centro de monitoreo.

<b>COSTOS DE INVERSIÓN DEL CENTRO DE MONITOREO DEL BIODIGESTOR</b>			
<b>Segunda fase</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Equipo de Análisis Microbiológico	1	1700	1700
Cristalería	1	3000	3000
Computadora	2	800	1600
Impresor	2	100	200
pH-metro	2	150	300
Reactivos para análisis	1	5000	5000
Balanza analítica	1	1500	1500
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>\$13,300</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28. Costos involucrados con la operación de la planta.**

<b>OTROS COSTOS INVOLUCRADOS EN LA ETAPA DE OPERACIÓN</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario(\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Material para envasado de Biofertilizante</b>	3687	25	\$92,175
<b>Servicios Básicos anuales</b>		-	\$ 4,200
<b>Costo de Mantenimiento Anual</b>		-	\$ 900
<b>Planilla Anual(Un técnico y dos operarios)</b>		-	\$30,000
<b>TOTAL (\$)</b>		-	<b>\$ 127,275</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.5.1.1 Costos Totales.**

En la presente tabla se detallan los costos totales del proyecto, es decir aquellos costos en los que se incurre en un proceso de producción. (Ver Tabla 29).

**Tabla 29. Costos totales del proyecto.**

<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>
<b>Costo de inversión emplazamiento del biodigestor</b>	<b>\$15,022.16</b>
<b>Centro de monitoreo del biodigestor</b>	<b>\$13,300</b>
<b>Etapa de operación de la planta</b>	<b>\$ 127,275</b>
<b>Imprevistos (15%)</b>	<b>\$9,162</b>
<b>Total (\$)</b>	<b>\$164,759.16</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.5.2 Beneficios del proyecto.**

En la estimación de los beneficios del proyecto se contemplan dos tipos de beneficios, los primeros son los ahorros económicos que tendría la Universidad por la implementación del proyecto en concepto de tratamiento de desechos sólidos y compra de gas licuado propano ya que por la cantidad de biogás que se produce el mejor uso es la combustión directa. El segundo es la comercialización del subproducto que es el biofertilizante y los resultados de los cálculos de los beneficios se presentan a continuación.

Cálculo del ahorro en gas por la sustitución de biogás en los laboratorios de la Universidad de El Salvador. Tomando el dato de biogás obtenido a diario, calculado en la sección 3.2.4, es de:

$$R = 2.1397 \frac{m^3}{\text{día}} \text{ Biogás}$$

Este valor se pasará a un año para tener beneficios anuales, por tanto se multiplicará por 365 días.

$$R = 781 \frac{m^3}{\text{año}} \text{ Biogás}$$

De la Tabla 4 en el capítulo uno del presente trabajo se extrajo el poder calorífico del Biogás que es de 7.0 kWh /m<sup>3</sup>. Con este dato se calculó la cantidad de energía que puede entregar el biogás al año.

$$E_{biogas} = 781 \frac{m^3}{\text{año}} * 7.0 \frac{kWh}{m^3} = 5467 \frac{kWh}{\text{año}}$$

Para poder apreciar el ahorro que se tendrá con la utilización del biogás se comparará el resultado anterior con la cantidad de gas propano que utiliza un laboratorio de química; en este caso se tomará como parámetro de comparación la cantidad que utiliza la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, éste laboratorio consume 2 cilindros de cien libras de gas propano por año académico (1 por ciclo) esto suma 200 libras de gas propano por año.

Con esta información se calculará la cantidad de energía que entrega el propano por medio de su poder calorífico y su densidad que también se extrajeron de la Tabla 4 del capítulo uno.

- Poder calorífico: 26 kWh /m<sup>3</sup>
- Densidad: 2.01 kg/ m<sup>3</sup>

$$E_{propano} = 200 \frac{lb}{\text{año}} * \frac{1 kg}{2.205 lb} * \frac{1 m^3}{2.01 kg} * 26.0 \frac{kWh}{m^3} = 1173.27 \frac{kWh}{\text{año}}$$

Comparando con la energía que puede entregar la combustión del biogás por año se obtiene lo siguiente

$$\frac{E_{biogas}}{E_{propano}} = \frac{5467}{1173.27} = 4.66$$

Esto sería para la demanda total de gas en un año en la Planta piloto, que son dos cilindros de cien libras por año, comparando esto por cilindro de cien libras.

$$\frac{E_{biogas}}{E_{propano}} = 4.66 * 2 = 9.32$$

Por lo tanto se tendría una producción de biogás equivalente a 9.32 cilindros de 100 libras de gas propano, ahorrando 2 cilindros de 100 lb de gas propano por año en la planta piloto y teniendo un excedente de 7.32 cilindros como beneficio del proyecto, el costo del cilindro de 100 libras de propano es de 38 dólares.

Continuando con los ahorros que generará el proyecto se tienen los que promueve en el rubro de gestión de desechos sólidos en la Universidad, según datos obtenidos por medio de la Unidad de acceso a la información pública de la Universidad de El Salvador, esta paga en concepto de tratamiento de desechos sólidos, \$37 dólares por tonelada de desechos y gasta \$360 dólares mensuales en gasolina para el camión compactador que transporta los desechos de la Universidad hasta el lugar donde son tratados. Se procederá a realizar el cálculo anual de los ahorros asociados al tratamiento de desechos en la Universidad, tomando en cuenta que se tratará un 37% de los desechos totales.

$$Ahorro\ por\ tratamiento = 2.44 \frac{ton}{dia} * 0.37 * 365 \frac{dias}{año} * \frac{\$37}{ton} = \$ 12192.314\ por\ año.$$

El ahorro en combustible consumido por el camión compactador se dedujo a partir de una relación entre lo que gasta en combustible al mes por el transporte de los desechos de la

Universidad que es \$390.00 y la cantidad de desechos que transportaría con la implementación del proyecto, que como se ha mencionado será un 37% menor.

$$\text{Ahorro en combustible} = \$144.3 \text{ al mes} = \$ 1731.6 \text{ al año}$$

Para finalizar se estiman los beneficios asociados a la venta del subproducto del proceso que es un fertilizante líquido, llamado Biol, que según Canales et al (2010) este fertilizante orgánico no importando su origen es rico en fitohormonas que estimulan la formación de raíces y su fortalecimiento.

Para determinar el precio del Biol se ha considerado los gastos de inversión totales y un margen de ganancia del 60% comercializarlo en un primer momento en envases de un galón, esto puede variar dependiendo de la calidad del Biol que se obtenga y el mercado que este encuentre. Debido a que la presentación será de un galón es necesario saber cuánto volumen se produce de Biol al año para poder saber los beneficios del mismo, además se conoce que se producirá de fertilizante 2283.79 kg/día y su densidad que es de 1080 kg/m<sup>3</sup>. Se procedió de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} V_{biol} &= 2283.79 \frac{kg}{dia} * 365 \frac{dias}{año} * \frac{1 m^3}{1080 kg} * \frac{1 gal}{3.785 \times 10^{-3} m^3} \\ &= 203919.79 galones/año \end{aligned}$$

$$\text{Precio del Biol} = \frac{\$127,275/año}{203919.79 gal/año} * 1.60 = 0.998 \approx \$1/galón$$

$$B_{Biol} = \$203,919.79/año$$

Se presenta en la Tabla 30 el resumen con los beneficios anuales del proyecto.

**Tabla 30. Beneficios del proyecto.**

<b>Beneficios</b>	<b>Monto (\$)</b>
<b>Ahorro consumo de gas propano</b>	76
<b>Excedente de biogás</b>	278.16
<b>Ahorro tratamiento de desechos sólidos</b>	12,192.314
<b>Ahorro en Combustible</b>	1,731.6
<b>Venta de Biol</b>	203,919.79
<b>Total (\$)</b>	<b>\$ 218,197.864</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.5.3 Evaluación Económica del Proyecto.**

Para la evaluación de la rentabilidad de la implementación del biodigestor en el campus universitario para el tratamiento de desechos sólidos orgánicos se hace uso de algunos elementos de Ingeniería económica que permitirán simular el comportamiento futuro del proyecto.

#### **a) Tasa Mínima de Rendimiento.**

La TMAR es la tasa mínima atractiva de rendimiento para obtener beneficios de la puesta en marcha del proyecto; la TMAR es la mínima cantidad de rendimiento que el inversionista estaría dispuesto a arriesgarse por colocar su dinero en el proyecto.

Se ha considerado una sola fuente de financiamiento para la implementación de este proyecto, se tomará una TMAR de una institución financiera, la TMAR del Banco corresponde a 9.05%.

#### **b) Análisis Beneficio- Costo.**

La técnica de análisis de Benéfico Costo tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de los costos en que se incurren en la realización de un proyecto y a su vez comparar dichos costos previstos con los beneficios esperados de la realización de dicho proyecto. Esta razón indica la rentabilidad del proyecto en términos de la relación de cobertura existente entre los ingresos y los egresos. El cálculo de la relación para un año se tiene a continuación:



$$B/C = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}}$$

Sustituyendo los beneficios obtenidos en el proyecto y los costos de inversión y de operación, haciendo el análisis para diez años se tiene:

$$B/C = \frac{\text{Ingresos}}{P(A/p, i, n) + \text{Costos de operación}}$$

Utilizando un tiempo de vida útil de diez años, una tasa 9.05% y buscando los factores de interés compuesto de tablas de Ingeniería Económica (J. A. Taylor, 1990). Ver Anexo 3.

$$B/C = \frac{354.16 + 12,192.314 + 1,731.6 + 203,919.79}{28,322.16(A/p, 9.05, 10) + \$ 127,275} = 1.66$$

**c) Tasa Interna de Retorno (TIR).**

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se necesitan los siguientes datos, valor de la inversión y los costos anuales. La TIR se calcula con la siguiente fórmula:

$$P(A/p, i, n) + L(i) + D = I$$

Para este proyecto se considera que el valor de salvamento es cero, entonces la ecuación se reduce a:

$$P(A/p, i, n) + D = I$$

Donde el factor planteado se puede sustituir con la siguiente fórmula:

$$(A/p, i, n) = \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n - 1]}$$

Entonces se procederá a estimar la TIR

$$P * \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n - 1]} + D = I$$

Para un período de diez años se tiene que:

$$28,322.16 * \frac{[i(1+i)^{10}]}{[(1+i)^{10} - 1]} + 127,275 = 218,197.864$$

**TIR= 345%**

La Tasa Interna de Retorno calculada corresponde al valor de 345% y con base a los parámetros de decisión se tiene que es mayor que la TMAR 9.05% obtenida por el Banco, haciendo factible económicamente la instalación y la puesta en marcha de la planta de producción de biogás en la UES, este resultado evidencia que para un proyecto futuro sería una inversión atractiva, esto debido a que se recupera la inversión inicial y se obtiene un excedente en un período de 10 años.

#### **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

En este capítulo se presentaran tanto los resultados obtenidos de la investigación bibliográfica, como de campo que se realizó para poder presentar la propuesta de diseño del biodigestor para la Universidad de El Salvador.

##### **4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**

Según la información brindada por la Unidad de Acceso a la Información Pública de la Universidad de El Salvador (UAIPUES, 2015), la cantidad de desechos generados en la Universidad son 2.05 toneladas al día, por los cuales paga la Universidad US\$ 37.00 por tonelada en concepto de disposición final. Cabe recalcar que los desechos de la cafetería no son tratados por la Universidad, siendo tratados y dispuestos fuera del alma máter.

En el capítulo 3 se realizó el cálculo de las fracciones de los componentes de los desechos de la Universidad, como el resultado del muestreo de 13 días en los dos depósitos de desechos de la Universidad y dos depósitos exclusivos de la cafetería universitaria. Estos resultados fueron un insumo indispensable para el diseño del biodigestor ya que no se contaba con datos actualizados de las proporciones de los desechos, los últimos registros de esta clasificación datan del año 2000, y fue necesario hacer una actualización de dichos datos. A continuación se mostrará una tabla comparativa entre la clasificación del año 2000 y los resultados que obtuvimos en el 2015 (Ver Tabla 31).

**Tabla 31. Comparación de composiciones de desechos sólidos en la UES.**

Categoría	año 2000	año 2015
Papel y Cartón	19.29	22.8
Plástico	8.52	22.9
Vidrio	1.07	1.95
Metales	1.13	1.7
Madera	0.37	1.45
Residuos de Jardín	62.5	17.6
Residuos de Comida	3.19	27.2
Otros	3.93	4.4

**Fuente: Elaboración propia.**

Como se muestra en la tabla 31 la composición de desechos ha cambiado a lo largo del tiempo, esto se debe probablemente a los diferentes patrones de consumo de la comunidad universitaria, también por el creciente número de personas que recogen los materiales reciclables como el PET y el aluminio. Si observamos el componente plástico ha aumentado casi al triple con respecto al año 2000 debido probablemente a su mayor uso en los últimos años, sin embargo aún con este crecimiento no es el componente de mayor proporción en la basura, probablemente debido a que es muy reciclable siendo aprovechado por pepenadores que reciclan este tipo de desechos.

Concentrándonos en los desechos orgánicos que serán tratados, que son los de jardín y los residuos de comida, los primeros han sufrido un gran decremento en su porcentaje probablemente debido al crecimiento arquitectónico de la Universidad y/o también al gran incremento de desechos en otros componentes, como se observa en los residuos de comida que han aumentado significativamente de un 3.29% a un 27%, por lo cual también es una justificación para la realización de proyectos como este.

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) la composición de desechos en la ciudad de San Salvador es la siguiente (Ver figura 4.1).



**Figura 4.1 Gráfica de los porcentajes por componente de los desechos sólidos en San Salvador.**

**Fuente: MARN, (2006).**

Estos difieren en algunos componentes comparados con los resultados obtenidos en nuestro trabajo de graduación, debido a la población que genera los desechos, el tipo de institución donde son generados y a la cantidad que se genera. Como podemos ver los compuestos orgánicos a nivel nacional comprenden un 58% y en la Universidad, sumando los residuos de jardín con los residuos de comida, comprenden un 44.8% esto debido a los factores mencionados anteriormente; cabe resaltar que aunque difieren los datos ambos son la composición predominante en los desechos y es necesario tener programas para el manejo y su valorización energética. Para finalizar el análisis de resultados de la clasificación de los desechos sólidos se tomó en cuenta lo que se menciona al inicio de esta sección sobre los desechos de la cafetería universitaria. Esta genera a diario 390 kg, que en su mayoría son residuos de comida en un 73% que nos indica que son una buena fuente de materia prima para el biodigestor y que la Universidad podría darles tratamiento. Como dato importante y a tomar en cuenta es que los diferentes cafetines de la cafetería al momento de disponer los desechos sólidos los segregan en sus diferentes componentes, una labor admirable y replicable por su facilidad de cuantificación, lo cual sería de mucha utilidad al momento de transportarlos.

## **4.2 PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**

En la UES la cantidad de residuos sólidos generados oscila alrededor de 2.44 toneladas al día (2.05 ton en las facultades y 0.39 ton en las cafeterías), los cuales por no estar segregados representan contaminación y acumulación dentro de los contenedores.

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación y con base a lo observado se propone una estrategia de segregación y transporte de los desechos sólidos que sería un aporte fundamental si se llegase a realizar el proyecto. La estrategia se ha elaborado con base a nuestra experiencia en la toma de muestras y la investigación realizada en el presente trabajo. Esta estrategia tendrá como objetivo la orientación y la descripción de residuos que permitan mejorar su gestión, segregar la basura desde su origen, para garantizar la completa separación de los desechos sólidos orgánicos principalmente los residuos de comida y de jardín que serán tratados posteriormente en el biodigestor. Para conseguir una buena clasificación esta estrategia tendrá tres ejes fundamentales, los cuales se detallan a continuación. (Ver figura 4.2).



**Figura 4.2 Principales ejes en los que se basa la propuesta de clasificación y transporte de residuos sólidos en la UES.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Primer Eje: “Generación de conciencia”.

Este consistirá en informar y concientizar a la comunidad universitaria sobre la problemática de la basura dentro de la UES y como esta pretende solventar parte del problema tratando los desechos sólidos orgánicos por medio de una propuesta de valorización energética de ellos.

Se pretende con la concientización ambiental brindar elementos que permitan abordar la problemática de la basura, además de proponer un proceso de formación para la comunidad universitaria, con el objetivo de promover nuevos hábitos de generación, tratamiento y reutilización, obteniéndose una mejor disposición de residuos sólidos.

En esta etapa se tendrán como objetivos principales:

- Capacitar a la comunidad universitaria acerca del manejo, prevención y transporte de los residuos sólidos.
- Conocer acerca de técnicas de higiene y seguridad para el manejo de residuos sólidos.
- Crear conciencia sobre el mejor manejo y disposición de los residuos sólidos.

La capacitación, conocimiento y conciencia acerca del manejo, prevención y transporte adecuado de los residuos sólidos, se harán utilizando herramientas como talleres, conferencias, charlas y cursos teóricos.

Segundo Eje: “Clasificación de los residuos sólidos”.

La propuesta de este eje consiste en brindar un plan de clasificación de residuos sólidos generados en la Universidad de El Salvador, para facilitar el manejo de estos, además de disminuir los malos olores, el mal aspecto por acumulación y la proliferación de vectores, en los depósitos de basura en la UES, que puede dañar a la salud. Es una etapa en la cual se fortalece lo propuesto en el eje anterior ya que en este se brindan los elementos físicos necesarios para que la comunidad universitaria contribuya en la adecuada segregación de los residuos que generan.

Los objetivos de este eje:

- Lograr que la comunidad universitaria clasifique de manera correcta los residuos.

- Brindar los elementos físicos necesarios para la correcta segregación.

Estos objetivos se alcanzarán distribuyendo depósitos de fibra de vidrio (Ver Anexo 4) identificados por color según el residuo que almacenarán, por los resultados obtenidos en la presente investigación, se proponen dos tipos de depósitos: biodegradables y no biodegradables. Se propone un depósito de color verde para los desechos biodegradables y uno naranja para los no biodegradables; deberán estar bien identificados y ser de fácil acceso. Estos depósitos son de vital importancia ya que en ellos la comunidad universitaria clasificará responsablemente de los desechos que generan según sea el caso.

En la siguiente imagen por medio de puntos rojos, se presentan la ubicación de los basureros en la UES, que fue proporcionada por la Unidad de Desarrollo Físico del alma mater, se propone la colocación de un basurero extra al lado de los ya existentes para la correcta separación de los residuos (Ver figura 4.3).





**Figura 4.3 Ubicación para los basureros de residuos sólidos orgánicos en la UES.**

**Fuente: Unidad de Desarrollo Físico de la Universidad de El Salvador, (2015).**

Tercer Eje: “Tratamiento y transporte de residuos sólidos”.

En esta etapa se pretende que cuando los residuos estén separados, se dé un tratamiento a los residuos biodegradables por medio de la planta de biogás propuesta en esta investigación y lo demás se transporte a un centro de tratamiento externo.

Los objetivos de esta etapa:

- Transportar de manera eficiente y segura los desechos para evitar derrames de lixiviado.
- Establecer un recorrido óptimo para el transporte de los residuos.
- Dar tratamiento a los residuos sólidos orgánicos para obtener el mayor valor energético de los mismos.

Para el transporte de los residuos sólidos orgánicos se propone el uso de un contenedor hermético para evitar derrames de lixiviado y emisiones de malos olores en el recorrido y establecer una ruta de acceso desde los depósitos hacia la planta. Ver propuesta en la figura 4.4. La ruta propuesta busca asegurar el paso rápido y eficiente de los desechos biodegradables hacia la planta de producción de biogás, esta ruta actualmente está acondicionada para el paso vehicular asegurando así no realizar modificaciones de infraestructura para el transporte de los desechos al biodigestor, el horario propuesto en la cual estarán transitando los contenedores herméticos con desechos es a las 6:00 am, debido que es a la hora que entra a trabajar la cuadrilla encargada de la disposición final de los desechos de la UES y es cuando empiezan a llenar el camión recolector de desechos para que este los lleve a su disposición final. Así asegurando que toda la materia prima disponible esta en los contenedores y darle el máximo aprovechamiento.

Es de vital importancia hacer una propuesta de manejo de los residuos como una medida que facilitará la disposición y el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos en la UES, ya que al hacer esta segregación se tendrá separada correctamente la materia prima necesaria para el biodigestor.

#### 4.2.1 Costos de la implementación de la propuesta para la clasificación y transporte de los desechos sólidos de la Universidad de El Salvador.

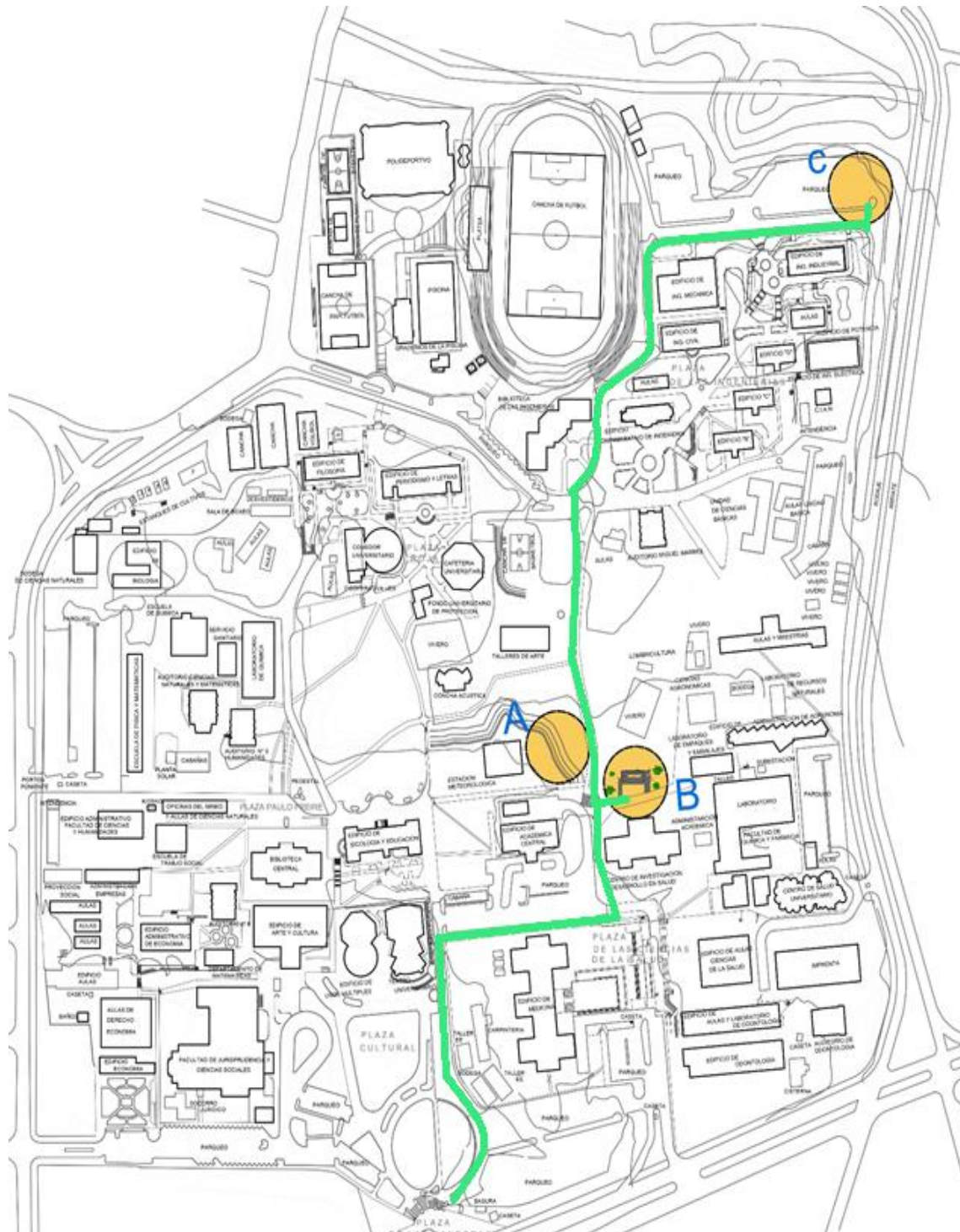
A continuación (Tabla 32), se detallan los costos asociados para la puesta en marcha de las tres fases de la propuesta de la sección 4.2.

**Tabla 32. Costos de la implementación de la propuesta para la clasificación y transporte de los desechos sólidos.**

<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (US\$)</b>	<b>Costo Total (US\$)</b>
<b>Afiches Informativos</b>	500	1	500
<b>Talleres Relacionados a Gestión de Desechos.</b>	12	150	1800
<b>Basureros para Residuos Biodegradables.</b>	100	180	18000
<b>Contenedores Herméticos para Transporte de Residuos Biodegradables.</b>	6	100	600
<b>TOTAL</b>			<b>20,900</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

La gestión del financiamiento de los costos asociados se propone que se realice por medio de la búsqueda de cooperación nacional o internacional, ya sea de los fondos o de los materiales necesarios para la implementación de esta. Existen muchas organizaciones y países que buscan fomentar el desarrollo de proyecto de gestión ambiental, manejo de residuos sólidos y la aplicación de energías renovables, por lo que se convierte en una opción favorable para la Universidad para no afectar el presupuesto con el que se cuenta.



**Figura 4.4 Rutas de acceso propuesto desde los depósitos hasta la planta de tratamiento.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 4.3 PROPUESTA DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR.

Para la elaboración de la propuesta de diseño del Biodigestor se calcularon ciertos parámetros de funcionamiento y volumen de carga en el capítulo 3. En la Tabla 33 se presenta un resumen de los parámetros obtenidos, actualizando de este modo los resultados de la investigación que hizo, Canales et Al, 2010.

**Tabla 33. Resumen de parámetros de diseño.**

Parámetro	Valor
Tiempo de retención	10 días
Carga de residuos de comida al día	805.612 kg
Carga de residuos de jardín al día	94.388 kg
Cantidad de agua a agregar al día	1,390.84 litros
Volumen de cámara de fermentación	29.271 m <sup>3</sup>
Diámetro	2 m
Longitud	10 m
Producción de biogás al día	2.1397 m <sup>3</sup>
Estimado de energía producida	14.97 Kwh/día

**Fuente: Elaboración propia.**

La propuesta de diseño de un biodigestor continuo que se presenta a continuación se deriva de los parámetros anteriormente señalados; tomando en cuenta, en dicho diseño, que la generación de residuos orgánicos puede aumentar debido al incremento de la demanda estudiantil.

A continuación se presenta una figura del diseño propuesto (Ver figura 4.5), las vistas del biodigestor son presentadas en el Anexo 5.

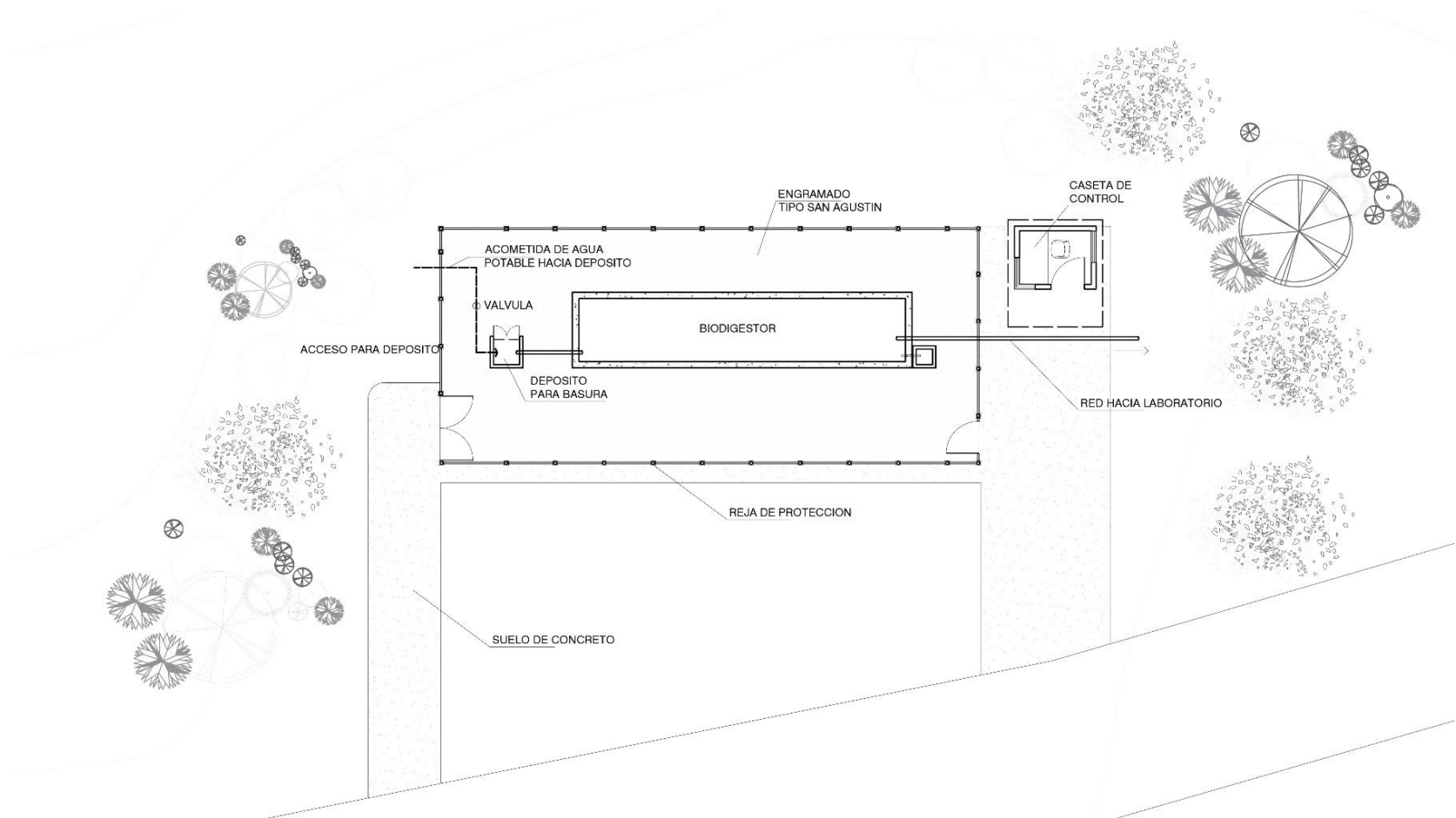


**Figura 4.5 Diseño propuesto del biodigestor.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Se presenta una descripción de los elementos considerados en el diseño propuesto, las cuales se enlistan a continuación y se ubican dentro del plano de distribución, considerando aspectos como factibilidad, optimización del espacio y líneas de producción. (Ver figura 4.6).

- Tanque de mezcla de materia prima y agua.
- Biodigestor.
- Tanque de almacenamiento de efluente.
- Área de control del proceso.



**Figura 4.6 Distribución de la planta de producción de biogás.**

**Fuente: Elaboración propia.**

- **Tanque de mezcla de materia prima y agua.**

Previamente se reduce el tamaño de la materia prima sometiéndolo a un proceso de picado, pasa a un tanque de mezcla que debe estar ubicado donde exista un buen acceso para el manejo de la materia orgánica, tomando en cuenta la accesibilidad de descarga de la biomasa y por otra parte se debe considerar la accesibilidad de conductos de agua potable. El tanque posee una entrada para los residuos de jardín y comida donde se almacenan y se mezclan con agua considerando el 8% de sólidos totales requeridos por el biodigestor.

Por otra parte, la mezcla se enviará al biodigestor por medio de gravedad, es decir, se construirá el tanque a una altura mayor que el biodigestor para proporcionar la inclinación adecuada para que pueda ser transportada hasta el biodigestor, por medio de una tubería de PVC de 4”.

- **Biodigestor.**

El biodigestor diseñado es del tipo de geomembrana semicircular, el cual necesitará agitación debido a su carga diaria y la cantidad de sólidos totales requeridos; el sistema de agitación constará de dos agitadores de hélice; este diseño estará construido por encima con el almacenamiento del gas con geomembrana de caucho (EPDM) contribuyendo a la hermeticidad del biodigestor.

La zanja tendrá una inclinación de 45° para la correcta disposición de la carga y evitar acumulación de sólidos, esta será cubierta a base de concreto con una tubería de entrada y una tubería de salida de 4” de PVC para el efluente que posteriormente será envasado y almacenado en una bodega. La conducción de biogás se hará por medio de una tubería de PVC de 1”, se debe disponer de válvula de bola al principio de la red y un manómetro para medir la presión a la que el biogás sale además de esto se incluye una trampa de agua para asegurar que el agua se condense y proporcionar una composición de gas con poca humedad además de evitar la reacción del agua y ácido sulfhídrico; además como medida preventiva para evitar exceso de presión en el biodigestor se instalará una válvula de alivio con sistema de quemado del gas que se hará de manera manual con el objetivo de evitar la liberación de biogás a la atmósfera. Este sistema consta de una tubería de 1” que transporta el biogás y un quemador convencional.



- **Tanque de almacenamiento del efluente.**

Este tanque es el encargado de almacenar temporalmente la mezcla digerida neutralizada para ser usada posteriormente como abono orgánico. La tubería de entrada y salida del efluente es de tubería de PVC de 4" para su posterior almacenamiento en la bodega.

- **Área de control del proceso.**

Este espacio físico será utilizado para monitorear el proceso de producción de biogás, utilizando indicadores importantes como la temperatura de salida del biogás, presión y composición de la carga, utilizando el equipo necesario para hacer las mediciones y análisis microbiológicos.

#### **4.4 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE BIOGAS.**

Con la ejecución del método de los factores ponderados en la tabla 22 de la sección 3.3.2 se pueden apreciar dos opciones potencialmente buenas para la instalación de la planta, esto debido a que fueron las mejores evaluadas, pero la opción que destacó fue la opción B; para esta opción se procedió a determinar su macro y micro localización.

##### **4.4.1 Macrolocalización.**

La macrolocalización se determinó en base a que los desechos sólidos utilizados para el funcionamiento del biodigestor provienen del campus universitario, además de los factores que se detallan a continuación.

- Impacto social favorable
- Disponibilidad de Terrenos para la instalación de la planta
- Propuesta de valorización energética hacia los desechos sólidos orgánicos.

Con los factores anteriormente citados se define la macrolocalización en el departamento de San Salvador, en la final de la 25 av. Norte, municipio de San Salvador. (Ver figura 4.7).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
SEDE CENTRAL



Figura 4.7. Macrolocalización de la planta de biogás.

Fuente: Secretaría General Universitaria, (2015).

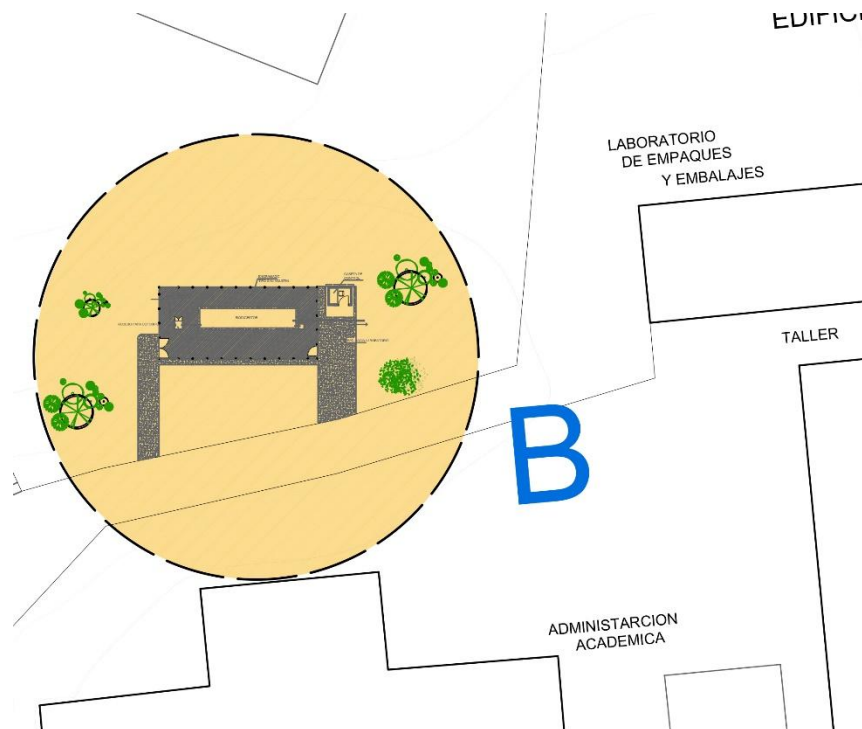
#### 4.4.2 Microlocalización.

La localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la menor afectación al medio ambiente, una tasa de rentabilidad alta, accesibilidad a la materia prima y cercanía del lugar donde será utilizado el biogás. A continuación se

desarrolla la segunda parte de la localización del biodigestor que consiste en su microlocalización, el lugar o zona específica donde se colocará la planta.

Haciendo el análisis de factores ponderados en el capítulo 3 se determinó que la mejor opción para la microlocalización es la opción B, frente el edificio CENSALUD, a un costado de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.

Esta ubicación posee ventajas en cuanto al acceso de suministros de agua y luz, accesibilidad de materia prima debido a que el depósito Valencia está cerca del lugar; el sitio es un lugar desocupado donde se harán pocas modificaciones al terreno y habrá poca afectación al medio ambiente y tomando en cuenta finalmente que los laboratorios donde tendrá su lugar de destino el biogás están cerca, a una distancia menor de cien metros. Ver figura 4.8.



**Figura 4.8. Microlocalización de la planta de biogás.**

**Fuente: Elaboración propia.**

## **4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL Y PERCEPCION DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA DEL PROYECTO.**

### **4.5.1 Análisis de Impacto Ambiental del Proyecto.**

Como se mencionó en el capítulo 3, para la evaluación del impacto ambiental del proyecto se utilizó el método de Valor de Impacto Ambiental (VIA); método en el cual se consideraron las diferentes acciones que se realizarían en el proyecto. Este método considera el uso de criterios, a los cuales se les asignaron valores por medio de un análisis en el que se tomó en cuenta el impacto ya sea positivo o negativo que esté generaba sobre el medio ambiente donde se realizaría el proyecto.

Además cabe mencionar que para la ejecución del VIA, el proyecto se dividió en dos fases:

- Fase de Construcción y
- Fase de Operación.

En la fase de construcción se consideraron acciones que se realizarían en la etapa de construcción de la planta tales como la preparación del terreno, la excavación de la zanja, condicionamiento y relleno de la zanja, construcción de depósito de la mezcla, construcción del área de control de proceso, construcción de bodega de subproductos y reforestación del terreno.

Además en la fase de operación se consideraron acciones de tipo operacional del proceso, entre ellas: recepción de la materia prima, alimentación de la materia prima al sistema, generación o producción de biogás, mantenimiento del biodigestor, envasado del biofertilizante y almacenamiento temporal del mismo.

Habiendo realizado la metodología de evaluación de impacto ambiental y sobre la base de los resultados presentados en el capítulo 3; se procede a presentar el análisis obtenido en las Tablas 34 y 35.

Etapa de Construcción de la Planta:

**Tabla 34. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Construcción.**

<b>Etapa Ejecución</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción del Impacto Ambiental Generado</b>	<b>Medida Ambiental</b>	<b>Descripción de la medida Ambiental</b>	<b>Ubicación de la medida ambiental</b>	<b>Momento de su ejecución</b>	<b>Resultado esperado</b>
Etapa de Construcción	Excavación de la zanja.	Contaminación de aire por polvo generado.	Utilización de sistema de riego.	Realización de riego antes y durante la realización de la zanja, y controlar el flujo de polvo que se provoca a fin de mantener un nivel que no afecte a la comunidad universitaria al momento de la excavación.	En el sitio del proyecto	Mientras dure la actividad de excavación.	Minimización tanto de la contaminación del aire, así como de la molestia que este polvo podría generar.
	Reforestación del terreno.	Reconstrucción de la flora.	Siembra de árboles y plantas a los alrededores de la planta.	Se realizará la reforestación del terreno en las áreas que hayan sido afectadas al momento de la construcción a fin de brindar una contribución ambiental y estética al proyecto.	En el sitio del proyecto	Mientras dure la actividad pero con monitoreo durante el proyecto.	Buena imagen y ayuda al medio ambiente y ecosistema del proyecto.

**Tabla 34. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Construcción.**

	Construcción de área de control de procesos.	Contaminación del suelo y agua superficial por residuos de construcción.	Sistema de buena manipulación de materiales de construcción.	Implementación de medidas que permitan controlar el proceso de construcción de esta área.	En el sitio del proyecto.	Durante la construcción.	Buen manejo y manipulación de materiales de construcción a fin de minimizar el daño que estos ocasionan al ser usados.
	Construcción de bodega de subproducto.	Contaminación de aguas superficiales y suelo.	Buena práctica ambiental en la construcción.	Realización de buenas prácticas ambientales en el uso y manipulación del proceso de construcción de la bodega.	En el sitio del proyecto.	Durante la construcción.	Minimizar el impacto ambiental que esta actividad genera mediante el uso de buenas prácticas ambientales en la construcción.

**Fuente: Elaboración propia.**

Etapa de Operación de la Planta:

**Tabla 35. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Operación.**

<b>Etapa Ejecución</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción del Impacto Ambiental Generado</b>	<b>Medida Ambiental</b>	<b>Descripción de la medida Ambiental</b>	<b>Ubicación de la medida ambiental</b>	<b>Momento de su ejecución</b>	<b>Resultado esperado</b>
Etapa de Operación	Recepción de Materia Prima	Contaminación de aire, suelo y aguas superficiales.	Monitoreo de la recepción de la materia prima.	Realizar monitoreo de Recepción de materia prima tomando en cuenta factores de minimización de riesgo de contaminación.	En el sitio del proyecto	Mientras dure la actividad.	Evitar daños al ecosistema por mal manejo de la materia prima al momento de ser recibida en el lugar del proyecto.
	Alimentación de la materia prima al sistema	Contaminación al suelo y agua tanto superficiales como subterráneas por filtración de lixiviados.	Monitoreo, verificación y supervisión al momento de realizar el proceso de carga que será alimentada.	Asignación de un supervisor que controle cualquier derrame u otro problema que pudiera generarse al momento de realizar el proceso de alimentación.	En el sitio del proyecto	Durante la actividad pero con monitoreo durante el proyecto.	Evitar la contaminación del agua y suelo por caída o derrame de lixiviados.

**Tabla 35. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Operación.**

	Producción del Biogás	Contaminación del aire y atmosfera.	Sistema de monitoreo constante de fuga de biogás en el proceso.	Implementación de puntos de control de proceso a fin de verificar el buen funcionamiento y así evitar fugas.	En el sitio del proyecto.	Durante el proceso de producción.	Evitar cualquier tipo de contaminación que se pueda provocar en el proceso de producción de biogás.
Etapa de Operación	Mantenimiento del biodigestor	Contaminación de aguas y suelo superficial, como subterráneos.	Mantenimiento preventivo y correctivo.	Realización e implementación de un plan de mantenimiento continuo de la planta.	En el sitio del proyecto.	Desde el inicio de la etapa de operación hasta toda la duración del proyecto.	Mantener un control del proceso mediante el mantenimiento continuo para garantizar el buen funcionamiento y la menor probabilidad de fallas del proceso producción.



**Tabla 35. Análisis de Evaluación del Impacto Ambiental para la Etapa de Operación.**

	Envasado del Biofertilizante	Contaminación de aire y suelo.	Sistema de envasado.	Implementar medidas de seguridad al momento de realizar el envasado.	En el sitio de realización del envasado.	Durante el proceso de envasado de biofertilizante.	Evitar la contaminación del suelo y aire y proteger al personal que se encargará de esta etapa.
	Almacenamiento temporal de Biofertilizante	Contaminación de suelo y aguas superficiales y subterráneas.	Sistema de monitoreo y de medidas de seguridad.	Implementar un sistema de monitoreo de la bodega de almacenaje de biofertilizante a fin de corregir cualquier derrame que pueda causar daño.	En la bodega de biofertilizante.	Desde que inicie el proceso de almacenaje de biofertilizante.	Mantener una verificación continua de la bodega de almacenaje con el fin de evitar cualquier accidente que pueda ocasionar daño al entorno.

**Fuente: Elaboración propia.**

#### **4.5.2 Análisis de la Percepción del Proyecto.**

Con el cálculo realizados en la sección 3.4.4 se determinó el error muestral (E) de la muestra tomada, para el caso 300 personas. Este resultado ser 5.64% para darle validez al método, determinar si la muestra es representativa y poder concluir sobre los resultados de los mismos se evaluó si el error muestral estaba dentro de un rango admisible. Esto según Bustamante (2011), “el error máximo admisible oscila entre el 4%- 6%, esto para determinar si una muestra es representativa con la población estudiada”.

Como se aprecia el error de la muestra tomada está dentro del rango admisible por lo tanto la muestra tomada es representativa de la población evaluada, da validez al método y se podrá analizar y concluir a partir de los resultados del mismo.

El análisis de resultados nos dice, que a pesar que la comunidad universitaria manifiesta tener prácticamente ningún conocimiento sobre cómo se realiza la gestión de desechos sólidos en la Universidad, también están conscientes de que los desechos son un problema que necesita ser analizado a fondo por lo que la gran mayoría, basados en la capacidad con la que cuenta la Universidad, están de acuerdo con que ella misma pueda dar tratamiento a sus propios desechos sólidos orgánicos, por medio de la instalación de una planta de tratamiento de ellos. La percepción que se tiene sobre el impacto social que generaría la implementación de dicha planta resulta ser positivo ya que se analiza desde el punto de vista que se puede contribuir a solucionar un problema y no tanto por el impacto visual que este proyecto tendría.

La implementación de un plan de segregación de desechos sólidos se convierte en una herramienta muy importante y atractiva dentro de la Universidad ya que creando un plan y dándole su respectivo cumplimiento se podría mejorar, no solo el ornato del recinto sino que también con la buena disposición de estos. La Universidad al ser la única pública del país se convierte en un referente para que aplicando estos planes de segregación, las personas no solo de la comunidad universitaria sino también las demás personas en general puedan comenzar a desarrollar un proceso de culturización sobre la forma y manera correcta de disponer de los desechos.

La mayoría de universitarios consideran que la implementación de una planta de tratamiento dentro del campus trae consigo el cumplimiento del compromiso que la Universidad tiene para con el medio ambiente, ya que así como se genera conocimiento científico también creamos una cultura de respeto y buen trato al medio ambiente y que por medio de proyectos de esta índole se cumple como Universidad a la mejora de nuestro ambiente y así se ayuda no solo al campus sino que al país y al mundo; la generación de bienes que produce el proyecto resulta atractiva ya que además de la contribución ambiental, también se están generando bienes que contribuyen con el desarrollo científico cultural y social de la Universidad. Se considera que si bien al inicio la implementación de esta planta de tratamiento afecta al ornato de la Universidad, debido a que por no existir una, esto trae cierta incomodidad para las personas que trabajan y estudian en el campus. En general al analizar los factores como un todo y valorar los ahorros que está genera, se considera que la implementación de esta planta resulta de gran beneficio y la comunidad universitaria lo ve como un proyecto futurista y capaz de ser realizado dentro del campus.

#### **4.6 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL BIODIGESTOR.**

La razón beneficio-costos es la división entre los ingresos actualizados y los costos, dando como resultado una relación  $B/C = 1.66$  para este proyecto. La interpretación es que por cada dólar invertido, se percibe una ganancia de \$0.66 centavos. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 3, se acepta el proyecto debido a que supera los criterios de decisión que el resultado da  $B/C > 1$ , interpretando que los ingresos superan a los costos.

En la segunda técnica utilizada se obtuvo una Tasa Interna de Retorno de 345% esta tasa es mayor que la TMAR elegida (9.05%), por lo que se concluye que el proyecto es rentable desde el punto de vista económico. Vale aclarar que la TMAR escogida es la tasa que da el banco y se utilizó esto con el fin de evidenciar la rentabilidad económica de la construcción de la planta de producción de biogás.

Estos métodos de toma de decisión de ingeniería económica son solo una referencia de la factibilidad económica de la realización del proyecto, ya que debido a la naturaleza de la

Universidad que es una institución autónoma y funciona con fondos públicos no puede disponer de fondos para la realización de proyectos, sino más bien tendría que incluirse los costos del emplazamiento y funcionamiento de la planta de producción de biogás en el proyecto de presupuesto que la UES presenta año con año al estado salvadoreño, para su aprobación y de esta forma poder echar andar el emplazamiento de la planta.

## CONCLUSIONES

En la Universidad de El Salvador se generan 2050 kg de residuos sólidos, de los cuales 918 kg son residuos sólidos orgánicos; en la cafetería universitaria se generan 390 kg de residuos, de estos 285 kg corresponden a residuos sólidos orgánicos, con estos datos se evidencia que existe una cantidad de residuos orgánicos considerable. Por lo que se propone el diseño de un biodigestor de cúpula flexible de geomembrana EPDM con un volumen total de  $29.27 \text{ m}^3$ , que puede procesar 900 kg de residuos al día, dando una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad.

Con el diseño propuesto del biodigestor la producción de biogás sería de  $2.14 \text{ m}^3/\text{día}$ , el cual permite la generación de  $14.97 \text{ kWh/día}$  ( $5467 \text{ kWh/año}$ ), esta cantidad no es suficiente para la producción de energía eléctrica, por lo cual se concluye que actualmente el mejor uso del biogás obtenido es para producir energía térmica, por otro lado de acuerdo a la localización propuesta el mejor aprovechamiento del biogás es para suministrar los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.

Para ubicar la mejor localización del biodigestor se utilizó el método de factores ponderados tomando como factores determinantes la cercanía del lugar, la accesibilidad de materia prima, poca afectación al medio ambiente y facilidad de almacenamiento del biofertilizante líquido, este método dio como resultado que la mejor localización dentro del recinto universitario es enfrente del edificio de CENSALUD a un costado de la planta piloto, este lugar posee ventajas como, cercanía al lugar de destino del biogás, es un espacio físico desocupado, existe poca forestación además de ser accesible para transportar la materia prima en este caso residuos sólidos orgánicos de la UES.

Por el estudio económico se determinó una inversión inicial para el emplazamiento del biodigestor de \$15,022.16, costos del centro de monitoreo de \$13,300 por lo tanto al sumar estas dos cantidades se tiene una inversión inicial del proyecto de \$28,322.16 y costos de operación de \$127,275, utilizando la Tasa Interna de Retorno y relación Beneficio-Costo. Tomando un tiempo de vida útil de la planta de producción de biogás de 10 años, se

comprobó la factibilidad económica, generando un excedente en la inversión de \$53,433.704 y recuperando a corto plazo el capital invertido, es decir, que la construcción de la planta de biogás puede generar beneficios económicos de \$218,197.864 para el primer año a la Universidad de El Salvador.

En cuanto al análisis de impacto ambiental de la planta de producción de biogás, este se evaluó por medio del método del Valor de Impacto Ambiental (VIA), con el cual se determinó que el proyecto tanto en su fase de construcción, así como en su fase de operación presenta poca afectación al medio ambiente y es considerado con un nivel medio- bajo de impacto.

En cuanto a la percepción de la comunidad universitaria se realizó por medio de consulta utilizando el método de la encuesta online, tomando como tamaño de muestra 300 personas; de estas personas encuestadas el 96.7% aprueba el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos que se generan en el campus, además de que un 90% manifiesta aceptación a la instalación de una planta de tratamiento de dichos residuos dentro de la Universidad con base a los resultados obtenidos en la evaluación se percibe que el emplazamiento de una planta de producción de biogás para la generación de energía como una alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos de la UES tendría buena aceptación.

Se elaboró una propuesta para la clasificación y transporte de los residuos sólidos tomando como base tres ejes principales que son concientización de la comunidad universitaria, clasificación de los residuos en biodegradables y no biodegradables, tratamiento y transporte de los residuos sólidos orgánicos para la alimentación del biodigestor propuesto, con esta estrategia se pretende hacer partícipe a la comunidad universitaria de una adecuada gestión de residuos sólidos dentro del recinto universitario pretendiendo incidir positivamente.

La valorización energética de los residuos sólidos orgánicos provenientes de la Universidad de El Salvador es de suma importancia concluyendo que un biodigestor para la generación de energía es una opción factible tanto económica, técnica, social y ambientalmente dando una alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos por medio de esta tecnología.

## RECOMENDACIONES

Para la propuesta de clasificación y transporte de los residuos sólidos orgánicos se recomienda, que la Universidad gestione el apoyo económico con organizaciones nacionales e internacionales. Con la implementación de la propuesta, se podrían obtener los instrumentos necesarios para realizar campañas a nivel universitario para la concientización de la comunidad y una adecuada clasificación de desechos sólidos, ya que en la actualidad acciones como esta son de suma importancia.

Que el presente trabajo de investigación junto con los trabajos de grado realizados por Núñez, Canales, etc., sean utilizados como otro aporte para la creación de una política energética , creando con ella una serie de medidas destinadas a lograr un manejo integrado de la energía, la seguridad del suministro energético y la sostenibilidad del mismo. Además que abarque la gestión de desechos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos e impulsar tecnologías amigables con el medio ambiente para la generación de energía y que la Universidad pueda establecer un compromiso para alcanzar una mejora en el desempeño energético como una nueva visión de desarrollo sostenible.

Se recomienda para trabajos futuros la realización de investigaciones sobre la gestión de desechos inorgánicos ya que existen dentro de la Universidad escasos estudios relacionados con este tema, además de realizar una investigación sobre una propuesta de valorización energética para los mismos utilizando nuevas tecnologías como la incineración y otros que se han desarrollado considerablemente en los últimos años.

Asimismo se recomienda realizar estudio sobre la evaluación técnica y económica del envasado y transporte del biogás para facilitar su utilización y promover la comercialización de este biocombustible.

De implementarse el proyecto se recomienda la elaboración de manuales y procedimientos a seguir para la adecuada operación de la planta de biogás además de evitar accidentes que puedan poner en riesgo la vida de las personas que estén laborando dentro de la planta y establecer capacitaciones continuas para el adecuado control del proceso.

Para la construcción y operación de la planta se recomienda que se haga uso del recurso humano técnico y científico con el que la Universidad cuenta. Además de que cumpliendo con la función social de la Universidad, esta pueda asesorar a comunidades y pequeñas empresas para la puesta en marcha de biodigestores para el tratamiento y aprovechamiento del potencial energético de sus desechos.

Deben realizarse más investigaciones en el área de valorización energética de residuos sólidos diferentes a la realizada en el presente trabajo de investigación esto con la finalidad de obtener un panorama más amplio en el tema de tratamiento de los residuos sólidos.

Realizar estudios e investigación sobre el biofertilizante; caracterización fisicoquímica, propiedades, composición, métodos de aplicación, efectos ambientales, su forma de envasado y comercialización.

De implementarse la planta se recomienda, poner en marcha un sistema de quemado de gas metano, para evitar que cuando este gas no sea utilizado, escape directamente a la atmosfera y así eliminar el efecto del metano en el calentamiento atmosférico y disminuir su contribución en el cambio climático.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alianza Global por Alternativas a la Incineración (GAIA). (2013) “Incineración en América Latina: Nuevas resistencias para nuevas amenazas”. [En línea]. USA. [ fecha de consulta 6 de abril de 2015]. Disponible en: < <http://www.no-burn.org/downloads/INCINERACION%20EN%20AMERICA%20LATINA.pdf>>
- Allen-Perkins D.A. (2010). “Diseño y construcción de un digestor de flujo de pistón que trata los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías apropiadas” [En línea]. Madrid España. Universidad Politécnica de Madrid. [Fecha de consulta 14 de mayo de 2015]. Disponible en: < [www.gessa-ex.es/documentos/guia\\_odt](http://www.gessa-ex.es/documentos/guia_odt)>.
- Arboleda, Y. & Salcedo, L.O. (2009). “Fundamentos para el diseño de biodigestores”. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Bustamante C.; (2011). “Aproximación al muestreo estadístico en investigación científicas”. (Artículo científico). Universidad del Museo Social Argentino, Argentina.
- Canales, M. C.; Rivas, L. A. & Sorto, R. J. (2010). “Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de El Salvador”. (Trabajo de graduación.). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América. A.C. (CICEANA). (2002) “Contaminación del Suelo”. [En línea]. Disponible en: <<http://www.ciceana.org.mx/recursos/Contaminacion%20del%20suelo.pdf>>
- Cristán Frías, A., Ize, I. & Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. Gaceta Ecológica, (69) 67-82. Recuperado de <<http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=53906905>>
- Deublein D. & Steinhauser A. (2008). “Biogas from waste and renewable resources: An Introduction”. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim.

- Decreto No 233. Ley de Medio Ambiente. Publicada en *Diario oficial de El Salvador* No. 79, del 4 de mayo de 1998. (Modificada 28 de mayo 2015). El Salvador.
- Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC) (2014). “El Salvador: Estimaciones y proyecciones de población”. Ministerio de Economía. San Salvador, El Salvador
- ECOTRANS S. A. de C. V. (2006). “Segundo censo nacional de desechos sólidos municipales”. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador, El Salvador. Consultado 10 abril de 2015. Disponible en <[http://www.marn.gob.sv/phocadownload/segundo\\_censo\\_nac\\_des\\_solidos.pdf](http://www.marn.gob.sv/phocadownload/segundo_censo_nac_des_solidos.pdf)>.
- Equipo Vértice. (2007). “Dirección de Operaciones, Dirección y Gestión de Empresas”. Editorial Vértice.
- Espinoza, G. & Alzina, V. (2002). “Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental”. Santiago, Chile.
- Ferry, J. (1992). “Methane from acetate” (*Journal of Bacteriology*). Vol. 174.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO) (1986). “Reciclaje de Materias Orgánicas y Biogas”. (Informe técnico). Chengdu, China, (Septiembre – Octubre, 1984). ).
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO); Ministerio de Energía (MINENERGIA); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Global Environmental Facility (GEF). (2011). “Manual Biogás” (Informe técnico ISBN 978-95-306892-0). Santiago de Chile.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). (1995). “Impacto Ambiental de las Prácticas de Cosecha Forestal y Construcción de Caminos en Bosques Nativos siempreverdes de la X Región de Chile”. (Informe técnico). Chile.
- Guerra M. (2011). “Diseño y Construcción de un biodigestor en la Universidad Don Bosco”. (Informe técnico). Universidad Don Bosco, El Salvador.

- Guevara, V.; (1996). “Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes”. (Documento OPS/CEPIS/96). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.
- Hernández, F. y Pratt, L. (1998). “Manejo de Desechos Sólidos en Dos Ciudades Centroamericanas: Soluciones del sector de la pequeña y mediana empresa”. [En línea]. INCAE. [Fecha de consulta 5 de Abril 2015], Disponible en: <<https://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen709.pdf>>
- Hidalgo, B.; Maravilla, C. y Ramírez, C. (2010). “Aprovechamiento energético del biogás en El Salvador”. (Trabajo de graduación). Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador.
- Hilbert, J.A; (2003). “Manual para la producción de biogás”. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Hilbert, J. & Eppel, J. (2007). “Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas”. Argentina.
- Hontoria García, E. y Zamorano Toro, M. (2000). Fundamentos del manejo de los residuos urbanos. Colección sénior 24. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro en la Energía (IDAE). (2007). “Biomasa: Digestores anaerobios”. Madrid, España.
- Klinger, R., Olaya, J., Marmolejo, L. & Madera, C. (2009). Plan de Muestreo para la Cuantificación de Residuos Sólidos Residenciales Generados en las Zonas Urbanas de Ciudades de Tamaño Intermedio. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 1(48), 76 – 86. Recuperado de: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/16021/13890>
- Leiva, C. C. (2000). Consideraciones Generales Sobre la Gestión de Residuos Sólidos En El Salvador. Theoreticos, 3 (4), 4-5.



- Marchena, M. (2007) “Cambios Ambientales, Sociales y Económicos generados por Biodigestores en granjas porcinas, cuenca del río Tempisque, Costa Rica”. (Trabajo de Postgrado). Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Mantilla González, J. M., Duque Daza, C. A. & Galeano Urueña, C. H. (2007). “Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno”. *Ingeniería e Investigación*, 27(3) 133-142. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327316>
- Mejía, A.; Mejía, P. y Ramírez, D. (2005). “Estudio de factibilidad técnico económico para la implantación de una planta productora de biogás a partir de desechos orgánicos”. (Trabajo de graduación). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2010). “*Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos*”. (Informe Técnico). El Salvador.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2007). “Guía para la Gestión de Desechos Sólidos con Disposición Final en Celdas de Seguridad”. El Salvador. Dirección general de Salud. Recuperado de [http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia\\_desechos\\_solidos\\_d\\_final\\_celdas\\_segurid.pdf](http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia_desechos_solidos_d_final_celdas_segurid.pdf)
- Núñez, K.M.; Ramírez, E. E. & Yanes, A. C. (2000). “Propuesta para la Gestión de residuos sólidos en la Universidad de El Salvador”. (Trabajo de graduación.). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2015). “Salud Pública y Medio Ambiente: Efectos sobre la Salud”, Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinante Sociales de la Salud.
- Pardo, M. (2002). “La Evaluación del Impacto Ambiental y Social para el siglo XXI: Teorías, Procesos, Metodología. Editorial Fundamentos Madrid. España.
- Pedraza, G.; Chará, J.; Conde, N.; Giraldo, S.; Giraldo, L.; (2002). “Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el

- tratamiento de aguas residuales de origen porcino”. Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV.
- Portal de Transparencia Fiscal. (s.f.). Recuperado el 12 de mayo de 2015, de <http://www.transparenciafiscal.gob.sv/ptf/es/index.html>
- Salazar, C.; Amusquivar, C.; Llave, P. & Rivasplata, C. (2012). “Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de Tacna”. XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX – SPES).
- Speece, R. E. (1996). “Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments”. Archae Press, Nashville, TN, USA.
- Taylor, G.A. (1996). *Ingeniería Económica*. Editorial Limusa. México.
- Unidad de Acceso a la Información Pública de la Universidad de El Salvador (UAIPUES). (2015, junio). Desechos sólidos recolectados y depositados en 2014 y gastos. Sofía Zamora Briones. Unidad de Desarrollo Físico, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Vargas, L.; (1992). “Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos Pecuarios”. (Trabajo de graduación). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Varnero, M.T. & Arellano, J. (1990). “Aprovechamiento racional de desechos orgánicos”. (Informe Técnico). Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura (FIA).
- Varnero, M.T. (1991). “Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás”. (Informe técnico). Santiago: Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Yank L.; Martina P.; Corace J. & Aeberhard A.; (2005). “Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia”. (Primeros ensayos). Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Argentina.

# **ANEXOS**

# 1. Hoja de seguridad del Metano.

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANO		ICSC: 0291 Febrero 2000	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / ENEC3:	74-82-8 PA1490000 1971 001-001-00-4 200-812-7	Hidruro de metilo CH <sub>4</sub> Masa molecular: 16,0	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas. NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Asfixia. Ver Notes.	Ventilación. A altas concentraciones protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Gautes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: equipo autónomo de respiración. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.		Clasificación UE Símbolo: F+ R: 12 S: (2)-8-10-33 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.1	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1F Codigo NFPA: H1; F4; R0;		A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo y techo.	
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005</p> 			



VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

<b>METANO</b>		<b>ICSC: 0291</b>
<b>DATOS IMPORTANTES</b>		
<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Gas licuado o comprimido incoloro e inodoro.</p> <p><b>PELIGROS FÍSICOS</b> El gas es más ligero que el aire.</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN</b> TLV: (Hidrocarburos Alifáticos Alcanos (C1-C4), gases) 1000 ppm (como TWA) (ACGIH 2005). MAK no establecido.</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN</b> Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN</b> La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
<p>Punto de ebullición: -161°C Punto de fusión: -183°C Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 3.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6</p>	<p>Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 537°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5-15 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.09</p>	
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<b>NOTAS</b>		
<p>Densidad del líquido en el punto de ebullición: 0.42 kg/l. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Una vez utilizado para la soldadura, cerrar la válvula; verificar regularmente el estado de la tubería, etc., y comprobar si existen escapes utilizando agua y jabón. Las medidas mencionadas en la sección PREVENCIÓN son aplicables a la producción, llenado de botellas y almacenamiento del gas. Otro número NU: 1972 (líquido refrigerado), clase de peligro: 2.1. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Respuesta de Emergencia</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED: (como Hidrocarburos alifáticos alcanos (C1-C4) y sus mezclas, gases) 1000 ppm</p>		
<b>NOTA LEGAL</b>	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		



## 2. Cotización Empresa EPA

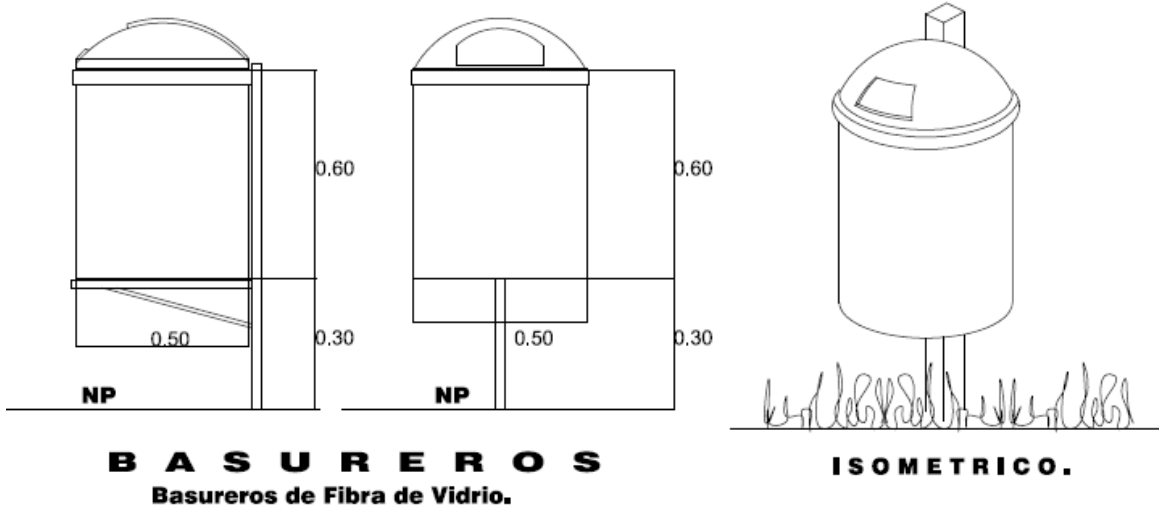
CEDULA:		COTIZACION No 0330621		Pag.. 0001	
		EMISION 26/06/2015		Fecha 26/06/2015	
				Ped VxV: 000000	
		Señor(es):			
		ALEJANDRO ENRIQUE TORRES			
Tienda: CALLE NRO 1 Y BOULEVAR DE LOS PROCERES, COLONIA SAN FRANCISCO, SAN SALVADOR					
Codigo	Descripcion	U/V	Cantidad	PVP	Total Articulo
3027001	CEMENTO PORTLAND 42.5KG	PZA	60.00	7.02 M	421.06
3028014	ARENA 1MT3 R6KM	M3	9.00	11.24	101.15
3028004	GRAVA 1 C15R6	M3	9.00	29.65	266.81
3008018	VARILLA 6MM LISA 6 METROS	PZA	240.00	1.02	244.25
3030009	BLQUE CONCRETO 20X20X40 R100	PZA	450.00	.51 M	230.97
2613009	PVC 1 2" 6M 315 PSI SDR 13.5	PZA	5.00	1.53 M	7.65
2613011	PVC 1" 6M 250 PSI SDR 17	PZA	5.00	3.38 M	16.90
2615003	CODO PVC 1 2" X 90 LISO	PZA	25.00	.12	3.10
2615030	CODO PVC 1" X 90 LISO	PZA	25.00	.49	12.17
3004025	TUBO MALLA 2" 1.5MM GAL	PZA	25.00	15.49	387.17
3046000	MALLA CICLON CAL 9 - 72"	YAR	100.00	6.51 M	651.33
2633002	VALVULA D BOLA PP 1 2"	PZA	5.00	3.67	18.36
2633004	VALVULA D BOLA PP 1"	PZA	5.00	11.06	55.31
					
OBSERVACIONES:					
Cotización valida solo en la Ciudad donde se emitió. *Precio NO incluye IVA*					
Elaborar el cheque certificado a nombre de FERRSTERIA EPA, S.A. DE C.V					
Presupuesto válido por 1 día					
"VV" Precio de Venta por Volumen					
"M" Precio de Venta x Empaque					
Elaborado por JOSE MENA					
					Sub-Total 2,416.24
					Imp. Venta 314.11
					TOTAL 2,730.35

### 3. Factores de Interés de Ingeniería Económica.

9% FACTORES DE INTERÉS DE 9% PARA PERÍODOS DE COMPOSICIÓN DISCRETA

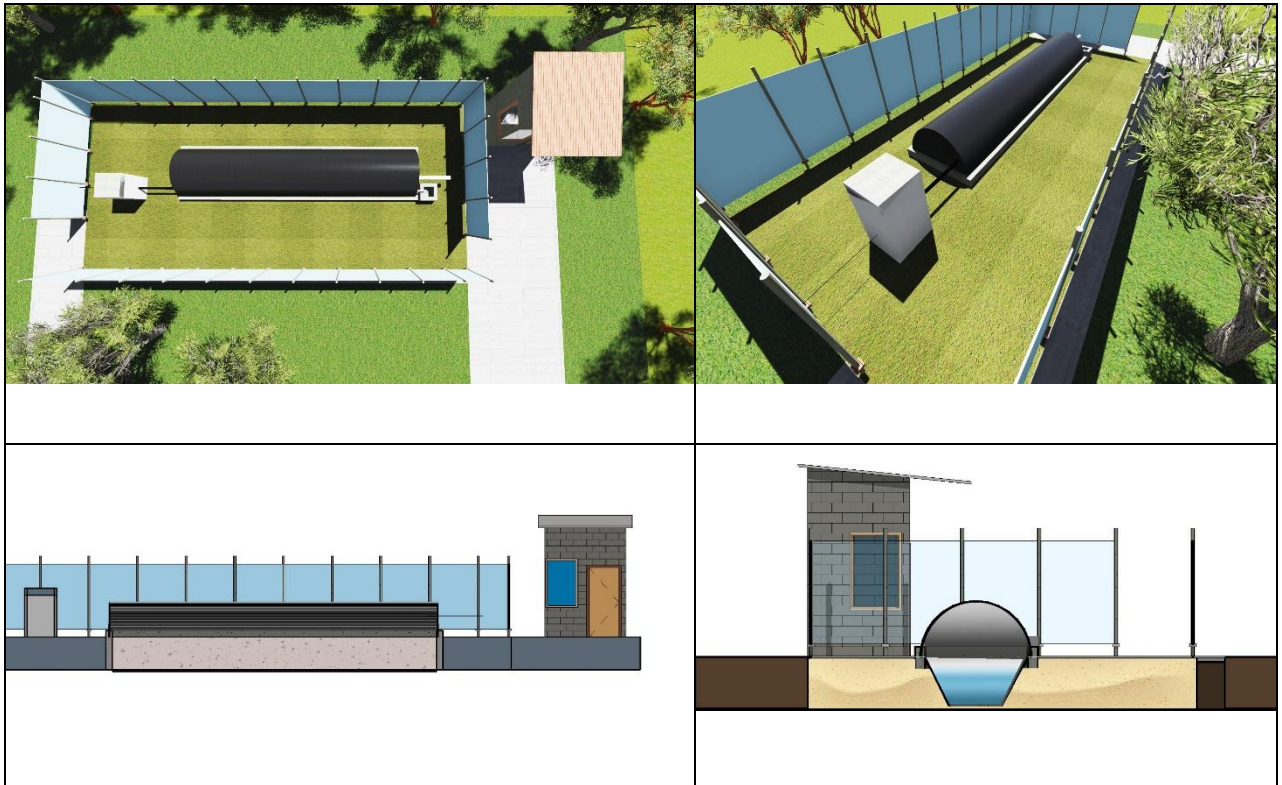
N	PAGO ÚNICO		SERIE UNIFORME					N
	Factor de cantidad compuesta	Factor de valor presente	Factor de recuperación de capital	Factor de Valor Presente	Factor de fondo de amortización	Factor de cantidad compuesta	Factor de gradiente	
	(F/P,9,N)	(P/F,9,N)	(A/P,9,N)	(P/A,9,N)	(A/F,9,N)	(F/A,9,N)	(A/G,9,N)	
1	1.09000	0.91743	1.09000	0.91743	1.00000	1.00000	0.00000	1
2	1.18810	0.84168	0.96847	1.75911	0.47847	2.09000	0.47847	2
3	1.29503	0.77218	0.89505	2.53129	0.30505	3.27610	0.94262	3
4	1.41158	0.70843	0.80867	3.23972	0.21867	4.57313	1.39230	4
5	1.53862	0.64993	0.72509	3.86965	0.16709	5.98471	1.82820	5
6	1.67710	0.59627	0.62292	4.46592	0.13292	7.52333	2.24979	6
7	1.82804	0.54703	0.51969	5.03295	0.10869	9.20043	2.65740	7
8	1.99256	0.50167	0.40667	5.53452	0.09067	11.02847	3.05117	8
9	2.17109	0.46043	0.29660	5.99525	0.07660	13.02104	3.43123	9
10	2.36736	0.42241	0.19582	6.41766	0.06582	15.19293	3.79777	10
11	2.58043	0.38753	0.14695	6.80519	0.05695	17.56029	4.15096	11
12	2.81266	0.35553	0.13965	7.16073	0.04965	20.14072	4.49102	12
13	3.06580	0.32616	0.13357	7.48690	0.04357	22.95336	4.81616	13
14	3.34173	0.29925	0.12843	7.78615	0.03843	26.01919	5.13262	14
15	3.64246	0.27454	0.12406	8.06069	0.03406	29.36092	5.43463	15
16	3.97031	0.25187	0.12030	8.31256	0.03030	33.00340	5.72446	16
17	4.32763	0.23107	0.11705	8.54363	0.02705	36.97370	6.00236	17
18	4.71712	0.21199	0.11421	8.75563	0.02421	41.30134	6.26865	18
19	5.14166	0.19449	0.11173	8.95011	0.02173	46.01846	6.52356	19
20	5.60441	0.17843	0.10955	9.12855	0.01955	51.16012	6.76745	20
21	6.10661	0.16370	0.10762	9.29224	0.01762	56.76453	7.00056	21
22	6.65860	0.15016	0.10590	9.44243	0.01590	62.87334	7.22322	22
23	7.25767	0.13778	0.10436	9.58021	0.01436	69.53194	7.43574	23
24	7.91108	0.12640	0.10302	9.70661	0.01302	76.78961	7.63843	24
25	8.62306	0.11597	0.10181	9.82256	0.01181	84.70090	7.83160	25
26	9.39916	0.10639	0.10072	9.92897	0.01072	93.32396	8.01556	26
27	10.24506	0.09761	0.09973	10.02656	0.00973	102.72313	8.19064	27
28	11.16714	0.08955	0.09885	10.11613	0.00885	112.96522	8.35714	28
29	12.17218	0.08215	0.09806	10.19820	0.00806	124.13536	8.51536	29
30	13.26768	0.07537	0.09734	10.27365	0.00734	136.30754	8.66566	30
31	14.46177	0.06915	0.09669	10.34280	0.00669	149.57522	8.80829	31
32	15.76333	0.06344	0.09610	10.40624	0.00610	164.03899	8.94356	32
33	17.18203	0.05820	0.09556	10.46444	0.00556	179.80032	9.07161	33
34	18.72841	0.05339	0.09506	10.51754	0.00506	196.96234	9.19329	34
35	20.41397	0.04899	0.09464	10.56652	0.00464	215.71075	9.30829	35
40	31.40942	0.03184	0.09296	10.75736	0.00296	337.80245	9.79573	40
45	45.32729	0.02069	0.09190	10.88120	0.00190	525.85573	10.16029	45
50	74.35792	0.01345	0.09123	10.96166	0.00123	815.06356	10.42952	50
55	114.40026	0.00874	0.09079	11.01399	0.00079	1260.09160	10.62614	55
60	176.03129	0.00566	0.09051	11.04799	0.00051	1944.79213	10.76632	60
65	270.64096	0.00369	0.09033	11.07009	0.00033	2996.26647	10.87023	65
70	416.73009	0.00240	0.09022	11.08445	0.00022	4619.22316	10.94273	70
75	641.19089	0.00156	0.09014	11.09376	0.00014	7113.23215	10.99396	75
80	966.55167	0.00101	0.09009	11.09965	0.00009	10950.57409	11.02994	80
85	1517.93203	0.00066	0.09006	11.10379	0.00006	16654.80033	11.05506	85
90	2335.52656	0.00043	0.09004	11.10635	0.00004	25939.16425	11.07256	90
95	3593.49715	0.00028	0.09003	11.10802	0.00003	39916.03496	11.08467	95
100	5529.04079	0.00018	0.09002	11.10910	0.00002	61422.67546	11.09302	100

**4. Propuesta de depósitos para utilizar en la Universidad de El Salvador.**



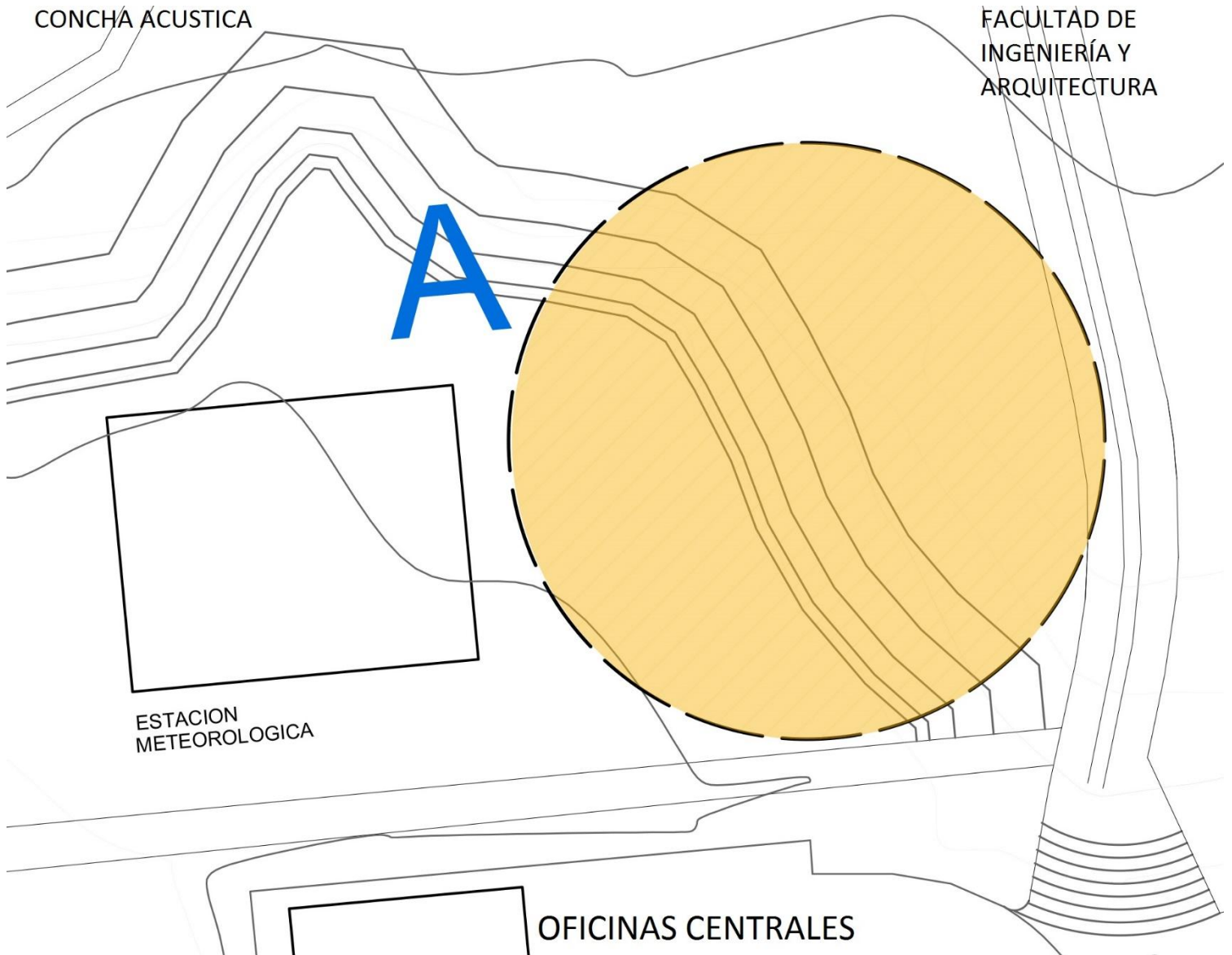
**COLOCACION DE BASUREROS EN TODA LA UES.**

## 5. Vista de la planta de biogás.

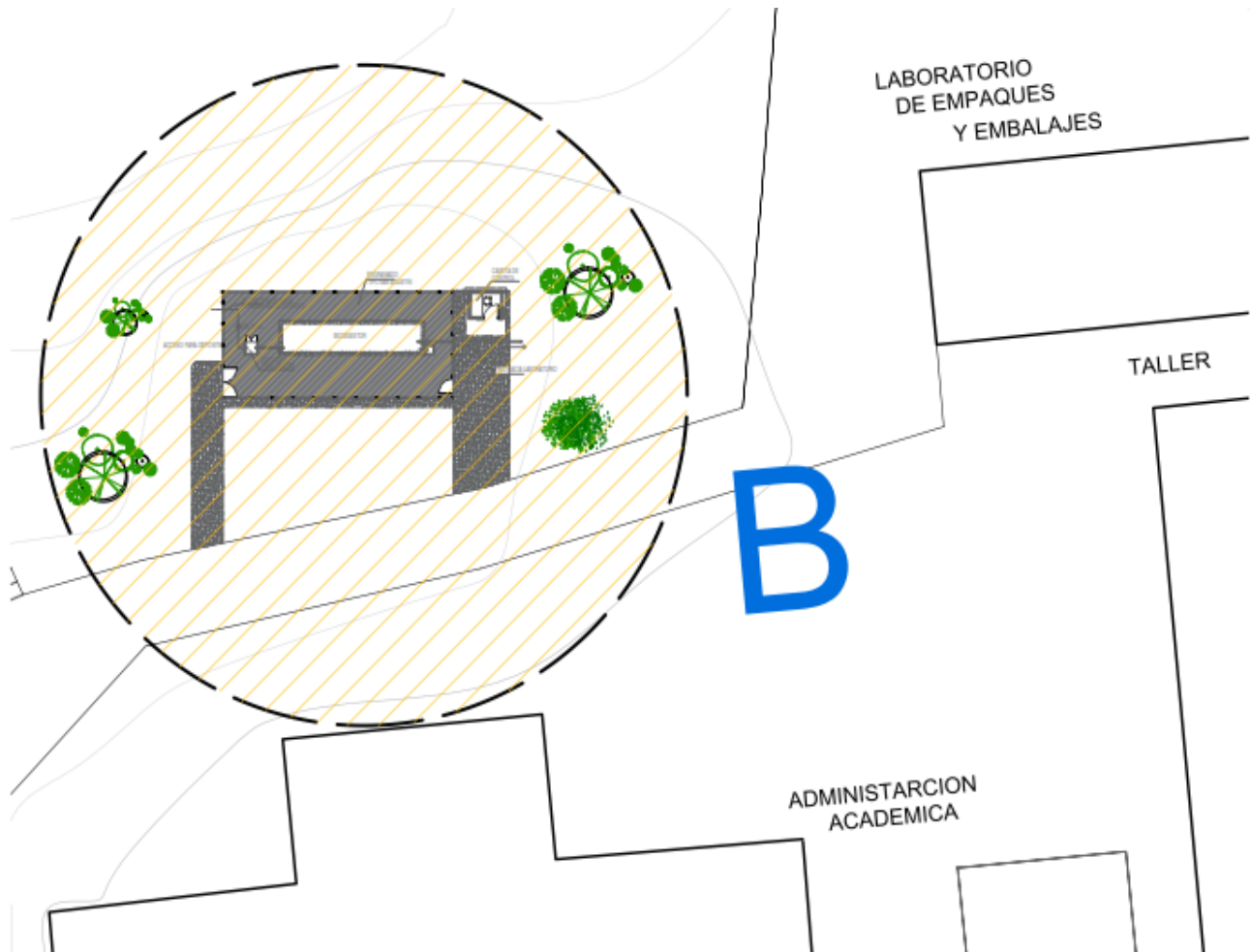


## 6. Alternativas de lugares para la localización del biodigestor.

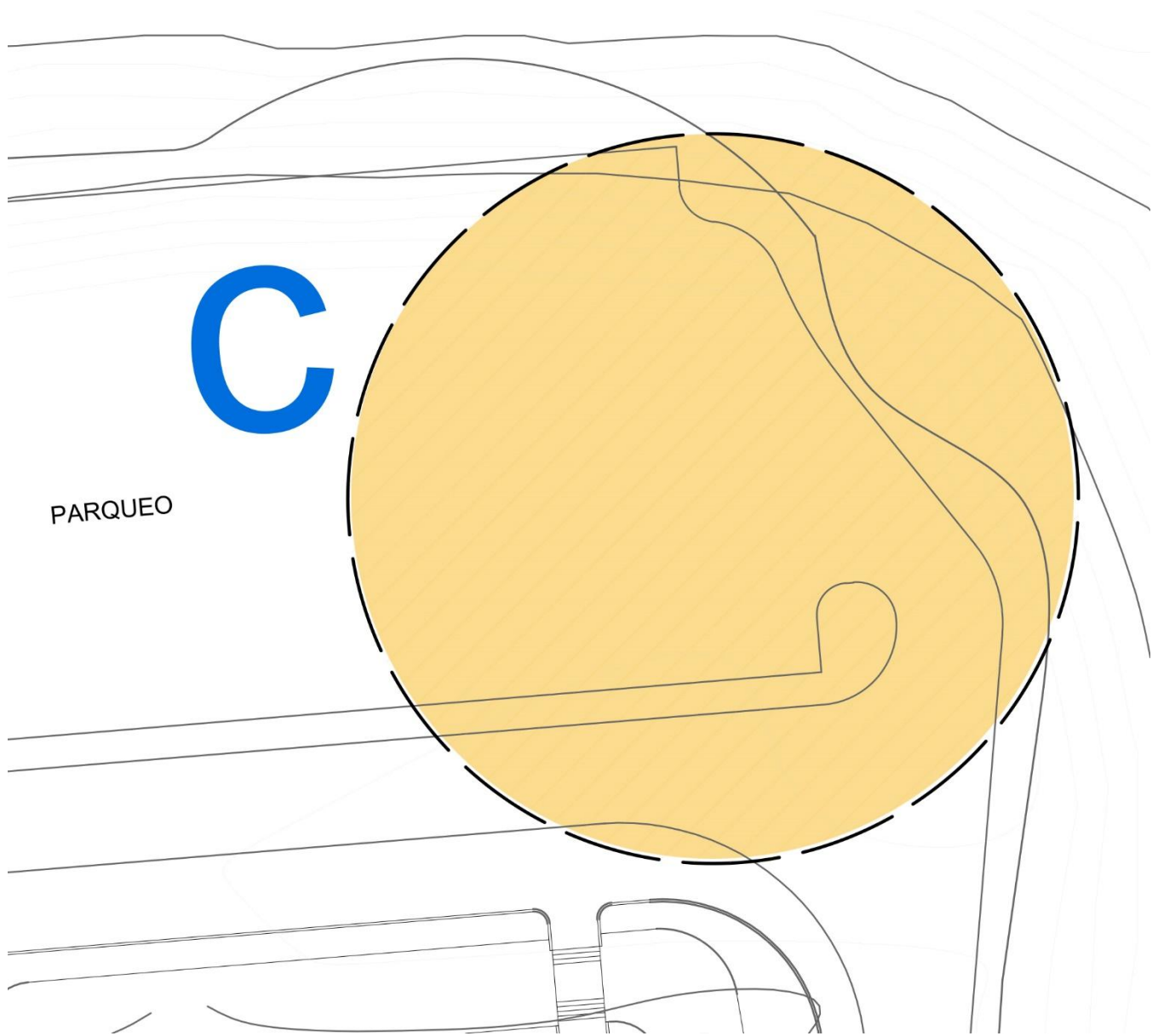
Esquema opción A: entre la unidad de desarrollo vehicular y la concha acústica, contiguo a la estación meteorológica.



Esquema opción B: Enfrente del edificio CENSALUD



Esquema opción C: Contiguo al depósito de desechos sólidos de la facultad de ingeniería y arquitectura.



## 7. Ficha técnica de geomembrana EPDM.

### Technical Information Sheet



### Firestone GeoGard™ EPDM Membrane (1.5 mm)

#### 1. Description

The Firestone GeoGard™ EPDM membrane 1.5 mm (.060") liner is a cured single-ply synthetic rubber membrane made of ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM).

It is available in a variety of panel sizes. Depending on the dimensions of the liner, the waterproofing surface may be seamless (up to 697 m<sup>2</sup>). In other situations, seams can be made using a self-adhesive tape.



#### 2. Preparation

**Product:** Allow the membrane to relax for approximately 30 minutes before splicing.

**Substrate:** The substrate needs to be smooth, dry and free of sharp objects, oil, grease and other materials that may damage the membrane.

#### 3. Application

Install the Firestone GeoGard EPDM in accordance with current specifications and details.

#### 4. Coverage

The dimensions of the membrane are calculated to cover the base of the reservoir, slopes and anchor trenches, including seam overlap.

#### 5. Characteristics

The Firestone GeoGard EPDM is a rubber material with the following properties:

Physical	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elastomeric membrane with a good combination of high elasticity and tensile strength</li> <li>Retains its flexibility at low temperature (-45°C)</li> <li>Resists to temperature shocks up to 130°C</li> <li>Excellent resistance to alkali rains</li> <li>Excellent resistance to U.V. radiation and ozone concentration</li> <li>Contact with some kind of oils, petroleum products, hot bitumen and grease must be avoided</li> </ul>
Technical	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Base: synthetic rubber</li> <li>Color: black</li> <li>Solvents: none</li> <li>Solids (%): 100</li> <li>State: cured</li> </ul>

#### 6. Technical specifications

Physical properties	Test method	Declared value	Tolerance	Unit
Mass per unit area	EN 1849-2	1695	± 5%	g/m <sup>2</sup>
Tensile strength (MD/CD)	ISO R 527	10	- 1	N/mm <sup>2</sup>
Elongation (MD/CD)	ISO R 527	≥ 300		%
Dimensional stability	EN 1107-2	≤ 0.5		%
Flexibility at low temperature	EN 495-5	≤ -45		°C
Resistance to static puncture	EN ISO 12236	0.9	- 0.1	kN
Liquid tightness under high pressure	EN 1928	≥ 4		bar
Water permeability	EN 14150	3.0 · 10 <sup>-5</sup>	± 10 <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Methane permeability	ASTM D1434	2.25 · 10 <sup>-1</sup>		m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Durability - weathering (25y)	EN 12224	Pass		
Durability - oxidation	EN 14575	Pass		
Friction angle	EN ISO 12957-2	27.5	± 1	°
Resistance to root penetration	CEN/TS 14416	Pass		

#### 7. Precautions

Take care when moving, transporting or handling to avoid sources of punctures and physical damage. Isolate waste products, such as petroleum products, greases, oils (mineral and vegetable) and animal fats from Firestone GeoGard EPDM.



Firestone Building Products Europe | Ikaroslaan 75 | 1930 Zaventem | Belgium  
T: +32 (0)2 711 44 50 | F: +32 (0)2 721 27 18 | info@fbpe.be | www.firestonebpe.com

6160\_UF\_15\_UK\_2013\_UK\_00051






## **8. Encuesta evaluación de impacto social del proyecto.**

**A continuación se presenta la encuesta realizada para determinar el impacto social de la implementación del proyecto:**

1. ¿Cuánto conoce usted sobre la gestión de los desechos sólidos en la Universidad de El Salvador?
2. ¿Qué percepción tiene acerca de las organizaciones que tienen política de gestión de desechos sólidos?
3. ¿Estaría de acuerdo con el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos en la Universidad de El Salvador?
4. ¿Estaría de acuerdo con la instalación de una planta de tratamiento de desechos sólidos orgánicos dentro de la Universidad?
5. ¿Qué impacto le genera la instalación de dicha planta dentro de la Universidad?
6. De existir un programa de disposición de desechos en la Universidad, ¿lo cumpliría?
7. ¿Considera usted que la implementación de una planta de tratamiento de desechos sólidos dentro de la Universidad, contribuye al compromiso que está tiene con el Medio Ambiente?
8. ¿Cuánto considera que afectaría al ornato de la Universidad la instalación de una planta de tratamiento de desechos sólidos?

## 9. Datos Técnicos de los equipos a utilizar en la planta de biogás.

<b>Trituradora de residuos Orgánicos</b>		 <p>Imagen meramente ilustrativa</p>
<b>Modelo</b>	TR 500	
<b>Potencia</b>	12,5 a 16 cv	
<b>Ø máx. de corte (cm)</b>	10	
<b>Rotación(rpm)</b>	3500	
<b>Producción (m³h)</b>	3 a 5	
<b>Tipo de martillos</b>	Móviles	
<b>Nº de martillos</b>	34	
<b>Nº de cuchillas</b>	2	
<b>Agitadores (Indostra)</b>		
<b>Modelo</b>	NDE-1000	
<b>Hélice</b>	marina para bajos caudales	
<b>Velocidades</b>	750 y 1500 RPM	
<b>Potencia</b>	Desde 0,25 hasta 1,5 Kw	
<b>Volumen del depósito:</b>	Desde 150 hasta 3 m³	
<b>Bascula Industrial (Ohaus)</b>		
<b>Modelo</b>	Defender 5000 (D51P100HL2)	
<b>Capacidad x sensibilidad (kg)</b>	100 x 0.02	
<b>Dimensiones de la plataforma (L x A x H) (mm)</b>	400x500x105	
<b>Construcción de la plataforma</b>	Cubierta de acero inoxidable 304, estructura de acero pintado.	

<b>Balanza Analítica (Ohaus)</b>		
<b>Modelo</b>	PA64	
<b>Capacidad / Alcance máximo (g)</b>	65	
<b>Sensibilidad / Desviación de escala (g)</b>	0.0001	
<b>Calibración / Ajuste</b>	Externa manual	
<b>Unidades de pesaje</b>	mg, g, ct, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, grain, ect.	
<b>Tiempo de Tara (s)</b>	1	
<b>Dimensiones del platillo</b>	9 cm Dia.	
<b>Dimensiones de la balanza (LxAxH) (cm)</b>	19.6 x 32 x 28.7	

## 10. Información brindada por la UAIPUES.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
UNIDAD DE DESARROLLO FISICO  
DESECHOS SOLIDOS RECOLECTADOS Y DEPOSITADOS EN 2014**

MES	TONELADAS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
ENERO	27.41	\$ 37.00	\$ 1,014.17
FEBRERO	50.91	\$ 37.00	\$ 1,883.67
MARZO	43.36	\$ 37.00	\$ 1,604.32
ABRIL	64.39	\$ 38.00	\$ 2,446.82
MAYO	60.29	\$ 38.00	\$ 2,291.02
JUNIO	62.21	\$ 38.00	\$ 2,363.98
JULIO	46.44	\$ 38.00	\$ 1,764.72
AGOSTO	58.13	\$ 38.00	\$ 2,208.94
SEPTIEMBRE	82.52	\$ 38.00	\$ 3,135.76
OCTUBRE	72.13	\$ 38.00	\$ 2,740.94
NOVIEMBRE	56.87	\$ 38.00	\$ 2,161.06
DICIEMBRE	25.04	\$ 38.00	\$ 951.52
TOTAL PAGO DE DISPOSICION ANUAL			\$ 24,566.92

OTROS GASTOS

COMBUSTIBLE	\$ 4,320.00
MANTTO. A CAMION COMPACTADOR	\$ 7,106.31
SUELDOS Y OTROS AL PERSONAL	\$ 21,200.00

<b>TOTAL GASTO ANUAL POR DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS</b>	<b>\$ 57,193.23</b>
--------------------------------------------------------------	---------------------



**11. Fotos del muestro en los depósitos de basura en la UES.**

