



---

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme alcanzar esta meta tan importante, ser Ingeniero Industrial.

A mis Padres y mi Hermana, quienes me brindaron su apoyo constante durante el período de mis estudios universitarios y el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, sin ellos no hubiese podido lograr alcanzar esta meta tan importante, agradezco todos los días de tenerlos a mi lado, este logro también es de ustedes.

A mis amigos, con los cuales compartí momentos alegres y no tan alegres, gracias por su apoyo y estar constantemente a mi lado, brindándome los ánimos para seguir adelante.

A mi tutor, Ing. Alirio J. Villanueva, quien constantemente me aconsejó durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, a quien le agradezco enormemente la oportunidad ofrecida de desarrollar este proyecto a su lado, muchas Gracias Profesor.

Al Prof. José Ignacio Gutiérrez, quien me brindó su apoyo durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado, muchas gracias por las horas de dedicación durante el desarrollo de los análisis experimentales.

Al Prof. Henrique Azpúrua, el cual me asesoró durante la realización del estudio económico del proyecto.

A todos aquellos profesores, que impartieron sus conocimientos y consejos para mi desarrollo, no sólo como profesional sino como ser humano perteneciente a una sociedad, que exige todos los días lo mejor de uno, muchas gracias a todos.

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MANEJO, UTILIZACIÓN Y EMPLEO DE RESIDUOS ORGÁNICOS NO COMPOSTABLES GENERADOS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO, SEDE CARACAS, MEDIANTE EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR”.**

Realizado por: Moisés A. Barrios B.  
Tutor: Ing. Alirio J Villanueva

**SINOPSIS**

El presente Trabajo Especial de Grado fue realizado en las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello, institución de educación superior comprometida a contribuir con la formación integral de la juventud universitaria, en su aspecto personal y comunitario, dentro de la concepción cristiana de la vida. El Trabajo Especial de Grado tuvo como objetivo general el desarrollo de una propuesta de manejo, utilización y empleo de los residuos orgánicos no compostables, generados dentro del campus, mediante el diseño de un Biodigestor, este proyecto se encontró enmarcado dentro del “Plan de Gestión Ambiente Campus Sustentable” de la AUSJAL. Se realizó la evaluación de la situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento de los desperdicios producidos dentro del campus universitario, de donde se realizó la determinación de los volúmenes de generación de estos, a partir de esta información se comenzó a fijar los requerimientos y especificaciones con los cuales la propuesta de diseño debería cumplir. Fueron generadas varias alternativas para la propuesta de diseño, capaces de manejar los volúmenes de producción de desperdicios de la UCAB, motivo por el cual, la elección de la mejor propuesta de diseño se realizó a través de una Matriz de Factores Ponderados, la cual se construyó a partir de la consulta a expertos por medio de encuestas de opinión. Fueron realizadas una serie de pruebas experimentales con Biodigestores a pequeña escala, que tenían como finalidad la determinación de las condiciones de salida del efluente generado dentro de estos, este efluente fue sometido a un proceso de Lombricultura, para su enriquecimiento, posterior a esto se realizaron análisis experimentales los cuales ayudaron a determinar la cantidad de ácidos húmicos, fúlvicos y concentración de carbono presente en este. Por último se realizó el estudio técnico económico para evaluar la factibilidad del mismo.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño de Plantas, Residuos Orgánicos, Descomposición anaeróbica, Matriz de Puntos Ponderados, Biodigestor.

---

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....	3
I.1. Planteamiento del Problema .....	3
I.2. Objetivos .....	4
I.2.1. Objetivo General .....	4
I.2.2. Objetivos Específicos .....	4
I.3. Alcance .....	5
I.4. Limitaciones .....	5
I.5. Antecedentes .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
II.1. Desechos, Desperdicios, Basura .....	7
II.1.1. Desecho .....	7
II.1.2. Desperdicio .....	7
II.1.3. Basura .....	7
II.2. Residuo Sólido Urbano .....	7
II.2.1. Manejo o Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos .....	8
II.2.2. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos .....	9
II.3. Biodigestión .....	9
II.3.1. Digestión Aeróbica .....	10
II.3.2. Digestión Anaeróbica .....	10
II.3.2.1. Fases del Proceso .....	10
II.4. Biodigestor .....	12
II.4.1. Tipo de Biodigestores .....	12
II.4.1.1. Biodigestores de Flujo Continuo .....	12
II.4.1.1.1. Campana Flotante o Tipo Hindú .....	12

II.4.1.1.2. Tipo Tubular, Horizontal o Plug Flow .....	14
II.4.1.2. Biodigestores de Flujo Semi-Continuo .....	15
II.4.1.2.1. Cúpula Fija o Tipo Chino .....	15
II.4.1.3. Biodigestores de Flujo Discontinuo .....	16
II.5. Biogás .....	17
II.5.1. Composición del Biogás según el Material Digerido .....	18
II.6. Biól o Efluente .....	18
II.7. Modelos de Biodigestión .....	18
II.7.1. Biodigestión a Nivel Rural o Casero .....	18
II.7.2. Biodigestión a Nivel Industrial .....	19
II.8. Parámetros .....	20
II.8.1. Temperatura y Tiempo de Retención .....	20
II.8.2. pH y Alcalinidad .....	21
II.8.3. Nutrientes .....	22
II.9. Ingeniería Concurrente .....	23
II.9.1. Objetivos de la Ingeniería Concurrente .....	23
II.9.2. Principios de la Ingeniería Concurrente .....	23
II.10. Actividades Primarias y de Apoyo .....	24
II. 11. Método de Selección de Factores Ponderados .....	24
II.12. Herramientas para la Distribución en Plantas Industriales .....	25
II.13. Marco Jurídico .....	25
II.14. Valor Presente Neto .....	26
II.15. Tasa de Rendimiento Atractiva Mínima .....	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	27
III.1. Tipos de Investigación .....	27
III.1.1. Investigación de Campo .....	27
III.1.2. Investigación Documental .....	27

III.1.3. Investigación Proyectiva .....	28
III.2. Estructuración Metodológica .....	28
<b>CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>32</b>
IV.1. Evaluación de las fuentes de generación, situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento de residuos orgánicos no compostables en de la UCAB.....	32
IV.1.1. Generación de Residuos Orgánicos No Compostables .....	32
IV.1.2. Manejo, Utilización y Aprovechamiento de Residuos Orgánicos no Compostables.....	35
IV.1.2.1. Manejo .....	35
IV.1.2.2. Utilización y Aprovechamiento .....	36
IV.1.3. Requerimientos de Funcionamiento y Especificaciones de Diseño .....	37
IV.1.3.1. Requerimientos de Funcionamiento.....	37
IV.1.3.2. Especificaciones de Diseño.....	40
<b>CAPÍTULO V: DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>	<b>43</b>
V.1. Generación de Alternativas y Desarrollo de una Matriz de Diseño.....	43
V.1. 1. Formato de Encuesta .....	43
V.2. Propuesta de Diseño para un Biodigestor de Cúpula Fija. ....	45
V.3. Propuesta de Diseño para una planta de Biodigestión.....	50
V.3.1. Diseño y Distribución de la Planta.....	50
V.3.1.1. Actividades Primarias y de Apoyo .....	52
V.3.1.2. Diseño del Flujo y Manejo de Materiales .....	58
V.3.1.2.1. Transporte de la materia prima .....	58
V.3.1.2.2. Transporte de Producto Terminado .....	59
V.3.1.2.3. Descripción del Sistema de Empaquetado .....	60
V.3.1.3. Plan de Implementación .....	60
<b>CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA .....</b>	<b>64</b>
VI.1. Evaluación Técnica.....	64

VI.2. Evaluación Económica .....	65
VI.2.1. Precio de Venta .....	66
VI.2.2. Estructura del Flujo de Caja .....	66
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
VII.1. Conclusiones .....	69
VII.2. Recomendaciones .....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	72
ANEXOS .....	76

---

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Proceso de Digestión Anaerobica</i> .....	11
Ilustración 2. <i>Microbiología de la Digestión Anaerobica</i> . .....	11
Ilustración 3. <i>Biodigestor de Cúpula Flotante o Tipo Hindú</i> .....	13
Ilustración 4. <i>Biodigestor Tipo Tubular o Plug Flow</i> .....	15
Ilustración 5. <i>Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino</i> .....	16
Ilustración 6. <i>Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino</i> .....	16
Ilustración 7. <i>Biodigestor Régimen Discontinuo</i> .....	17
Ilustración 8. <i>Gestión de Residuos Orgánicos</i> .....	37
Ilustración 9. <i>Formas de Valorización Energética</i> .....	37
Ilustración 10. <i>Volúmenes Promedio Mensuales de Desperdicios</i> .....	39
Ilustración 11. <i>Ponderaciones</i> .....	44
Ilustración 12. <i>Esquema de Diseño Biodigestor Cúpula Fija</i> .....	47
Ilustración 13. <i>Dimensiones para Excavación de Biodigestor de Cúpula Fija de</i> .....	49
Ilustración 14. <i>Biodigestor de Cúpula Fija de 24m<sup>3</sup></i> .....	50
Ilustración 15. <i>Vista satelital del terreno de la planta.</i> .....	51
Ilustración 16. <i>Diagrama de Doble Entrada</i> .....	55
Ilustración 17. <i>Diagrama de Nodos</i> .....	56
Ilustración 18. <i>Diagrama de Grilla (Opción 2)</i> .....	57
Ilustración 19. <i>Distribución General de la Planta</i> .....	57
Ilustración 20. <i>Tolva de Llenado</i> .....	60

Ilustración 21. <i>Biodigestor Familiar Tipo Tubular, Régimen Continuo</i> .....	1
Ilustración 22. <i>Biodigestor Familiar Tipo Tubular, Régimen Continuo</i> .....	1
Ilustración 23. <i>Biodigestor Industrial</i> .....	1
Ilustración 24. <i>Mezcla Orgánica Triturada</i> .....	6
Ilustración 25. <i>Montajes Armados</i> .....	7
Ilustración 26. <i>Metodología Experimental</i> .....	11
Ilustración 27. <i>Absorbancia Máxima</i> .....	14
Ilustración 28. <i>Curva de Carbono Orgánico</i> .....	15
Ilustración 29. <i>Apilador</i> .....	18
Ilustración 30. <i>Trituradora</i> .....	19
Ilustración 31. <i>Mezcladora</i> .....	19
Ilustración 32. <i>Biodigestor</i> .....	20
Ilustración 33 <i>Tolva de Empaquetado</i> .....	20
Ilustración 34. <i>Cuarto de Bombas</i> .....	21
Ilustración 35. <i>Área de Lavado</i> .....	21
Ilustración 36. <i>Diagrama de Grilla (opción 1)</i> .....	24

---

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Componentes del Biogás en función del sustrato utilizado (Coombs, 1990).</i> .....	18
Tabla 2. <i>Tiempo de Retención según Temperatura</i> .....	21
Tabla 3. <i>Estructuración Metodológica</i> .....	29
Tabla 4. <i>Desperdicios de Cocina</i> .....	33
Tabla 5. <i>Desperdicios No compostables de Cocina (Café Base Seca)</i> .....	33
Tabla 6. <i>Desperdicios No compostables de Cocina (Café Base Húmeda)</i> .....	34
Tabla 7. <i>Materia Seca</i> .....	34
Tabla 8. <i>Papel sin tintas</i> .....	34
Tabla 9. <i>Cartón sin tintas</i> .....	34
Tabla 10. <i>Volúmenes Diarios de Desperdicios (volúmenes en m<sup>3</sup>)</i> .....	38
Tabla 11. <i>Volúmenes Promedio Mensuales de Desperdicios</i> .....	39
Tabla 12. <i>Encuesta a Expertos</i> .....	44
Tabla 13. <i>Matriz de Diseño</i> .....	45
Tabla 14. <i>Dimensiones Biodigestor</i> .....	48
Tabla 15. <i>Diagrama de Proceso de la planta de Biodigestión</i> .....	52
Tabla 16. <i>Proceso de la Planta de Biodigestión</i> .....	52
Tabla 17. <i>Requerimientos de espacio por área</i> .....	54
Tabla 18. <i>Codificación por Área</i> .....	56
Tabla 19. <i>Transporte de la Materia Prima</i> .....	58
Tabla 20. <i>Transporte de Producto Terminado</i> .....	59

Tabla 21. <i>Diagrama Gantt Plan de Implementación</i> .....	61
Tabla 22. <i>Aspectos Técnicos de la Planta</i> .....	64
Tabla 23. <i>Flujo de Caja</i> .....	67
Tabla 24. <i>Análisis Beneficio –Costo</i> .....	67
Tabla 25. <i>Resultados Análisis Beneficio –Costo</i> .....	67
Tabla 26. <i>Puntaciones de Requerimientos y Especificaciones de Diseño</i> .....	3
Tabla 27. <i>Datos Presión Biogás en cm de Agua</i> .....	8
Tabla 28. <i>Datos Presión Biogás en mm de Mercurio</i> .....	9
Tabla 29. <i>Resultados Húmicos y Fúlvicos</i> .....	12
Tabla 30. <i>Absorvancia a 420 nm</i> .....	15
Tabla 31. <i>Absorvancia de muestras a 420 nm</i> .....	15
Tabla 32. <i>Concentración Carbono Orgánico</i> .....	16
Tabla 33. <i>Valor numérico de relación entre áreas</i> .....	23
Tabla 34. <i>Cálculo de Eficacia (opción 1)</i> .....	24
Tabla 35. <i>Cálculo de Eficacia (opción 2)</i> .....	25

---

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 . <i>Radio Básico</i> .....	47
Ecuación 2. <i>Radio Básico</i> .....	48
Ecuación 3. <i>Unidad Proporcional U</i> .....	48
Ecuación 4. <i>Cálculo Radio de la Cúpula</i> .....	17
Ecuación 5. <i>Cálculo Diámetro del Biodigestor</i> .....	17
Ecuación 6. <i>Cálculo de Altura de Cúpula</i> .....	17
Ecuación 7. <i>Cálculo de Altura de Pared</i> .....	17
Ecuación 8. <i>Cálculo de Altura de Cono Base</i> .....	17

---

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MODELOS DE BIODIGESTIÓN .....	1
ANEXO 2: MARCO JURÍDICO .....	2
ANEXO 3: MÉTODO DE PUNTOS PONDERADOS .....	3
ANEXO 4: DOCUMENTACIÓN EXPERIMENTAL .....	5
4.1.1. Procedimiento Experimental.....	5
4.1.1.1. Preparación de la Mezcla Orgánica .....	5
4.1.2. Preparación del Montaje .....	6
4.1.3. Análisis Húmicos y Fúlvicos .....	9
4.1.3.1. Metodología Experimental para la Medición de Ac. Húmicos y Fúlvicos ..	10
4.1.4. Determinación de Carbono Orgánico.....	13
4.1.4.1. Descripción Procedimiento Experimental .....	13
ANEXO 5: CÁLCULO DE DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR.....	17
ANEXO 6: DISTRIBUCIÓN MÁQUINA-EQUIPO.....	18
ANEXO 7: DISTRIBUCIÓN PLANTA DE BIODIGESTIÓN .....	23
ANEXO 8: MATERIALES MÁS UTILIZADOS EN LA OBRA .....	26
ANEXO 9: LAYOUT PLANTA DE BIODIGESTIÓN .....	27

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad nadie se encuentra ajeno a la problemática ambiental por la cual se encuentra atravesando la sociedad y el planeta entero, problemática generada a partir del derroche y mal aprovechamiento de los recursos naturales y de la pésima planificación en cuanto a la administración de los mismos.

A raíz de esto ha surgido poco a poco un movimiento en la sociedad, el cual pretende amortiguar el constante deterioro de nuestro medio ambiente, y a partir de esto empezar a realizar planificaciones para la gestión eficiente de los recursos naturales.

La búsqueda de soluciones a esta problemática ha ayudado a generar distintas alternativas tecnológicas que permitan emplear los recursos naturales existentes, sin necesidad de degenerar el medio ambiente, ejemplo de estos las distintas tecnologías ecológicas que son una fuente de energía alternativa y cuyos subproductos pueden ser empleados para otras actividades económicas de importancia.

Como parte de tecnologías amigables con el medio ambiente se encuentran los Biodigestores, los cuales otorgan una solución a la problemática del aprovechamiento de la materia orgánica sujeta a descomposición como lo son las heces fecales y los desperdicios, (los cuales conforman gran parte de la basura), producto de las actividades humanas cotidianas, en el caso de la basura esta es uno de los principales agentes contaminantes en el país. Un Biodigestor proporciona un recinto donde se pueda generar la descomposición de la materia orgánica en forma anaeróbica, obteniéndose a partir de este proceso de descomposición dos productos totalmente aprovechables, Biogás y Biól, los cuales puedan emplearse como fuente de generación de energía alternativa y como abono o fertilizante natural.

El presente Trabajo Especial de Grado muestra la propuesta de diseño de un Biodigestor o conjunto de Biodigestores capaces de aprovechar los desperdicios producidos dentro del campus de la Universidad Católica Andrés Bello, sede Caracas. Este se divide en un total de siete capítulos, los cuales se describirán brevemente a continuación:

El **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**, hace referencia a la problemática de los desperdicios dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, en este se

plantean los objetivos tanto generales como específicos del trabajo especial de grado.

En el **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**, son definidos todos aquellos aspectos teóricos relacionados con el proceso de biodigestión, y todos aquellos conceptos que sustentaron el estudio y las herramientas utilizadas para desarrollar el mismo.

El **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**, plantea la metodología que se aplicó en forma estructurada y secuencial.

En el **CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL**, es planteada la situación en cuanto al manejo, utilización y aprovechamiento de los desperdicios dentro del campus de la Universidad Católica Andrés Bello.

En el **CAPÍTULO V: DISEÑO CONCEPTUAL**, se realiza la elaboración del diseño de un Biodigestor, y de una planta de biodigestión, la cual aproveche los desperdicios generados en el campus y pueda contener a un número determinado de Biodigestores.

El **CAPÍTULO VI: ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO**, hace el planteamiento de los costos de inversión a los que se llegaría a incurrir en el caso de la implementación de la planta.

Por último el **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**, cubre en forma breve todos los aspectos recolectados de la finalización de cada capítulo y las recomendaciones generadas a partir de estos.

## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**

### **I.1. Planteamiento del Problema**

El manejo de los desechos sólidos es una de las principales causas de contaminación en el mundo y principalmente en Venezuela.

Actualmente La Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), sede Caracas, mediante el desarrollo del “Plan de Gestión Ambiental Campus Sustentable UCAB”, pretende iniciar una estrategia de manejo de este tipo de desechos, tanto orgánicos como no orgánicos, para ello ha seguido los lineamientos del programa ambiental AUSJAL.

Este plan se ha estructurado mediante la creación de tres grupos principales:

- Equipo 1: Programa de Formación y actualización de la Comunidad Ucabista.
- Equipo 2: Programa para el Manejo integrado de desechos.
- Equipo 3: Manejo de energía y agua.

Dentro del Programa para el Manejo Integrado de Desechos se han desarrollado varios proyectos que contemplan el manejo y aprovechamiento de los desechos sólidos dentro del campus de la UCAB, estos han sido parte de los proyectos desarrollados dentro del campus de la UCAB, los cuales plantean un espectro de alternativas para el manejo y aprovechamiento de desechos orgánicos como solución a la problemática de los desechos sólidos de este tipo.

De las alternativas para el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados en la UCAB, existen una variedad de desechos que por ejemplo no pueden emplearse para la generación de un Compost, una de las propuestas existentes dentro de la gama de proyectos desarrollados para el manejo y gestión de desechos, debido a sus propias características este tipo de desechos afectaría el desempeño apropiado del mismo, es a partir de este hecho de donde surge la problemática de cómo emplear este tipo de residuos orgánicos no compostables aeróbicamente, para su aprovechamiento. Este Trabajo pretende dar una solución para el empleo de este tipo de desechos mediante el diseño de propuestas para el manejo, utilización y aprovechamiento de los mismos haciendo uso de un Biodigestor, cuya fuente de alimentación sea este tipo de material, para la generación de fertilizantes ricos en nitrógeno, fósforo y potasio que benefician e incrementan el rendimiento de campos,

cosechas y sembradíos, otro subproducto de la biodigestión es la generación de gas metano debido a la degradación de la materia orgánica de forma anaeróbica, que puede ser empleado como combustible para la producción de energía eléctrica entre otras aplicaciones.

Un digester de desechos orgánicos o Biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales en determinada dilución de agua para que a través de la descomposición de la materia orgánica se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos y desperdicios. Como se mencionó uno de los productos de un Biodigestor es el gas metano entre otros gases, el cual puede ser empleado como fuente de generación de energía. Este Trabajo pretende aparte de dar una respuesta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos no compostables, generar una opción de aprovechamiento energético a través de este tipo de residuos dentro del campus de la Universidad, que si bien el diseño no será a gran escala, sino más bien una pequeña prueba piloto, sirva como referencia para futuros Trabajos Especiales de Grado que tengan como interés la extracción de energía a partir de fuentes naturales.

## **I.2. Objetivos**

### ***I.2.1. Objetivo General***

Desarrollar una propuesta de manejo, utilización y empleo de residuos orgánicos no compostables generados dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, sede Caracas, mediante el diseño de un Biodigestor.

### **I.2.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar la situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento de los residuos orgánicos no compostables generados dentro de la UCAB.
- Definir objetivos para el aprovechamiento de residuos sólidos.
- Establecer los requerimientos de funcionamiento y especificaciones de diseño para un Biodigestor.
- Desarrollar una matriz de Diseño.
- Generar alternativas.

- Evaluar técnica y económicamente la propuesta y seleccionar la mejor alternativa.
- Desarrollar un plan de implementación.

### **I.3. Alcance**

El Trabajo Especial de Grado propone la utilización de materiales orgánicos no aptos para la utilización de un compost, mediante la descomposición de estos dentro de un Biodigestor generando fertilizantes o abonos, igualmente busca alternativas mas amigables con el ambiente para la generación de energía a través de fuentes naturales, llevándose a cabo por medio de un estudio técnico-económico y diseño conceptual de un Biodigestor pequeña escala. El proyecto se desarrollará en la Universidad Católica Andrés Bello, sede Caracas.

### **I.4. Limitaciones**

- Se estima que el proyecto se desarrollará en un intervalo aproximado de 18 semanas, dependiendo de la duración de cada etapa de investigación y desarrollo del Trabajo Especial de Grado.
- El Trabajo Especial de Grado no pretende ni contempla la posterior implementación y ejecución dentro del campus del diseño del Biodigestor. Sólo contempla el diseño conceptual y la realización de una prueba piloto.

### **I.5. Antecedentes**

Actualmente los proyectos de carácter ambiental dentro del Campus de la Universidad Católica Andrés Bello han venido tomando fuerza, teniendo como finalidad el desarrollo de nuevas alternativas que permitan el manejo, utilización y aprovechamiento de los desechos tanto orgánicos como no orgánicos dentro del campus de la UCAB. El “Plan de Gestión Ambiental Campus Sustentable”, ha fijado sus bases en el plan ambiental AUSJAL y tiene como finalidad el desarrollo de tres equipos encargados del cuidado del ambiente dentro del campus de la universidad. Los equipos anteriormente mencionados se describen a continuación:

- Equipo 1: Programa de Formación y Actualización de la Comunidad Ucabista.
- Equipo 2: Programa para el Manejo Integrado de Desechos.
- Equipo 3: Manejo de Energía y Agua.

Enmarcados en el Programa para el Manejo Integrado de Desechos se han desarrollado tanto Pasantías como Trabajos Especiales de Grado, los cuales servirán como referencia, para el desarrollo de esta propuesta para el manejo de residuos orgánicos no compostables. Es necesario destacar que esta propuesta de manejo de desechos, es la continuación de trabajos anteriores vinculados con el tema del manejo de desechos, que tienen como finalidad la mejora del ambiente dentro del campus universitario.

Dentro de estos proyectos desarrollados en la Universidad Católica Andrés Bello, se tienen los siguientes:

***“DISEÑO DE LAS BASES DE UN PLAN PARA EL MANEJO INTEGRADO DE RESIDUOS SÓLIDOS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO, CAMPUS CARACAS”.***

Trabajo Especial de Grado realizado por Hernández, Mata Mairim. Uzcátegui Baroni, Juan Pedro. Universidad Católica Andrés Bello. Febrero 2010. Caracas, Venezuela. Para optar al título de Ingeniero Industrial.

***“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PILOTO DE COMPOSTAJE”***

Trabajo Especial de Grado realizado por González Irena. Díaz Ricardo. Universidad Católica Andrés Bello. Octubre 2010. Caracas, Venezuela. Para optar al título de Ingeniero Industrial.

***“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN DESTINADA AL MANEJO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA UCAB, CAMPUS CARACAS”***

Informe de Pasantías realizado por Panyella, Mónica Alejandra. Universidad Católica Andrés Bellos. Octubre 2010. Caracas, Venezuela.

---

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### II.1. Desechos, Desperdicios, Basura

#### II.1.1. Desecho

“Material, sustancia, solución, mezcla u objeto para los cuales no se prevé un destino inmediato y deba ser eliminado o dispuesto en forma permanente”.<sup>1</sup>

El término desecho se refiere a los residuos no putrescibles, incluyendo cenizas procedentes de materiales combustibles, y no combustibles, como papeles, cartones, hojas de latas, loza, etc.

#### II.1.2. Desperdicio

El término desperdicio se refiere simplemente a los residuos de alimentos, incluyendo restos de origen animal, frutas o vegetales, utilizados o con intención de utilizarse como alimentos, o que proceden de la preparación, el uso, cocción, industrialización, o almacenamiento, de carnes, pescados, aves, frutas o vegetales.<sup>2</sup>

#### II.1.3. Basura

El término basura consiste en la agrupación de todos los tipos de desechos sólidos putrescibles y no putrescibles con excepción de las deyecciones corporales, es frecuentemente un concepto confundido con desperdicios o desechos.<sup>3</sup>

### II.2. Residuo Sólido Urbano

“El remanente del metabolismo de los organismos vivos y de la utilización o descomposición de los materiales vivos o inertes y de las transformaciones de energía. Se lo considera un contaminante cuando por su cantidad, composición o particular naturaleza sea de difícil integración a los ciclos, flujos y procesos ecológicos normales”.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> LEY N° 55: SOBRE SUSTANCIAS, MATERIALES Y DESECHOS PELIGROS (publicada en Gaceta Oficial N° 5554, extraordinaria de fecha 13 de Noviembre del 2001)

<sup>2,3</sup> Blanco, Faour J (1979), “Estudio Integral sobre recolección y disposición final de los residuos sólidos del Edo. Nueva Esparta”. Ministerio de Ambiente y Recursos Renovables. Caracas, Venezuela

<sup>4</sup> DECRETO 2216: NORMAS PARA EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO, COMERCIAL, INDUSTRIAL O DE CUALQUIER OTRA NATURALEZA QUE NO SEAN PELIGROSOS (año 1992).

En todo proceso ocurre la transformación y utilización de recursos que serán aplicados en algún tipo de metabolización o transformación industrial, donde se generan excedentes cuyo uso no se puede determinar o no poseen ninguna aplicabilidad útil, a estos se les conoce por el nombre de residuos.

Según Colomer (2009), cuando se hace mención de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), se hace referencia a todos aquellos excedentes a los cuales ya se hizo referencia, generados en domicilios particulares, comercios, oficinas, servicios e industrial, (haciendo inclusión de éstas últimas únicamente por aquellos residuos sólidos generados en estas que posean la clasificación de peligrosos). También se consideran RSU a los residuos procedentes de la limpieza de las vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.

### ***II.2.1. Manejo o Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos***

La Ley N° 55: Sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligros (publicada en Gaceta Oficial N° 5554, extraordinaria de fecha 13 de Noviembre del 2001) define al manejo como el conjunto de operaciones dirigidas a darle a las sustancias, materiales y desechos, el destino más adecuado, de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños a la salud y al medio ambiente. Comprende la minimización, identificación, caracterización, segregación, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final o cualquier otro uso que los involucre. De igual manera, Rodríguez (2006) plantea que el Manejo o Gestión integral de Residuos Urbanos comprende al conjunto de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades de la comunidad.

Surge por la necesidad de la sociedad en solventar y atender el creciente problema de la contaminación del medio ambiente que la rodea, reduciendo los impactos contaminantes de los residuos que ésta produce y desecha en el mismo.

### **II.2.2. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos**

Se podría definir Residuos Sólidos Urbanos (RSU) aprovechables como aquellos "...que por sus características pueden ser reciclados o transformados en otros materiales y por lo tanto ser comercializados..."<sup>5</sup>

Los RSU dependiendo de sus características pueden llegar a reutilizarse y puestos a comercialización. Materiales como por ejemplo el vidrio luego de su uso, puede reciclarse en un 100 %.

Los desperdicios ya que son de origen orgánico tienen una gran y amplia utilidad como por ejemplo la biodigestión y el compostaje, los cuales ambos son empleados mayormente en zonas rurales o agrícolas, donde las ventajas que aporta la aplicación de estos, son significativas y de gran importancia.

El aprovechamiento de los RSU, es de vital importancia, con una buena y efectiva gestión o manejo de los mismos, se puede ver una reducción en los costos que implicaría el tratamiento de estos para evitar impactos dañinos en el medio ambiente y a la sociedad, no solo esto sino que de igual manera se pueden emplear (en el caso de los desperdicios) como material para el abono. En el caso de los desechos, la reutilización y aprovechamiento de estos evita que estos produzcan un impacto contaminante en el medio ambiente.

### **II.3. Biodigestión**

Es el proceso mediante el cual por medio de la digestión anaeróbica, una mezcla orgánica, (mezcla compuesta fundamentalmente por desperdicios de cocina, heces humanas o de animales, desperdicios de jardinería, entre otros), es degradada gracias a la acción de bacterias, en compuestos más simples y aprovechables.. Estos tipos de procesos se aplican fundamentalmente para la obtención de energía a través de la quema del gas metano generado durante el proceso (la obtención de gas se produce fundamentalmente en la digestión anaeróbica) llamado biogás y el aprovechamiento del Biól que es producto de la degradación de la materia orgánica el cual dependiendo de su contenido de nutrientes puede ser aplicado directamente como fertilizante o tratado de distintas maneras, con el fin de enriquecerlo y utilizarlo con el mismo propósito<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> DECRETO 2216: NORMAS PARA EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO, COMERCIAL, INDUSTRIAL O DE CUALQUIER OTRA NATURALEZA QUE NO SEAN PELIGROSOS (año 1992).

<sup>6</sup> López, A (2008), " Valorización del Estiércol de Cerdo a través de la producción de Biogás". Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de Policultura. Colombia.

### **II.3.1. Digestión Aeróbica**

Se define como Digestión Aeróbica a los procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.<sup>7</sup>

### **II.3.2. Digestión Anaeróbica**

Proceso mediante el cual una mezcla orgánica, es sometida a la acción de un determinado tipo de bacterias en condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia total de oxígeno, generando entre otros productos gas metano o biogás. La digestión Anaeróbica, es un proceso complicado en el cual se combinan los efectos de distintas bacterias. El proceso básicamente se divide en tres etapas: Hidrólisis y etapa Fermentativa (bacterias fermentativas), Acidogénesis (bacterias acetanogénicas), y por último la Metanogénesis (bacterias metanogénicas), que como su nombre sugiere es en esta última etapa en la que se genera el gas Metano<sup>8</sup>

#### **II.3.2.1. Fases del Proceso**

- **Hidrólisis y Etapa Fermentativa:** Para Martí (2006) la hidrólisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la degradación anaeróbica de los sustratos orgánicos complejos, ya que los microorganismos únicamente pueden utilizar la materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Por tanto, es el proceso de hidrólisis que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. El proceso de hidrólisis se lleva a cabo por enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. En la Etapa Fermentativa, explica Martí (2006) es donde tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (Acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por las bacterias en la siguiente etapa del proceso.
- **Etapa Acetanogénica:** Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H<sub>2</sub> y Acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles, y

---

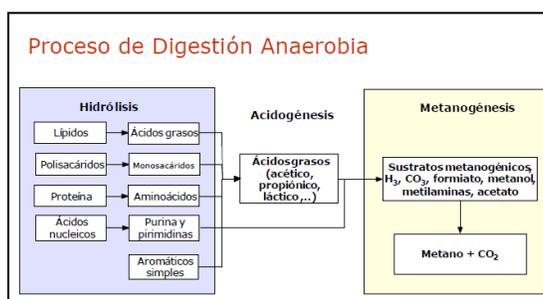
<sup>7</sup> Peralta, J; Varea L. (2006). DIGESTIÓN AEROBICA, *Diseño de Procesos en Ingeniería*

<sup>8</sup> Martí ; N. (2006) PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO EN UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (PHOSPHORUS PRECIPITATION IN A ANAEROBIC PROCESS) .USA

algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, (acetato y H<sub>2</sub>), a través de bacterias acetanogénicas. El proceso de transformación de este compuesto es lo que Martí (2006) define como la etapa Acetanogénica.

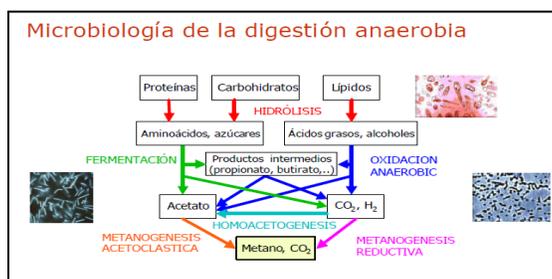
- Etapa Metanogénica:** Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica, según explica Martí (2006), mediante la formación de metano a partir de sustratos de carbono unidos por un enlace covalente. El proceso de metanogénesis consiste en la metabolización de estos sustratos y generar metano. Se ha demostrado que un 70 % del metano producido por estos microorganismos en los reactores anaeróbicos se forma a partir de acetato.

El proceso de Digestión Anaeróbica es explicado en forma gráfica a través de la **Ilustración 1**, de igual manera en la **Ilustración 2**, se muestra la microbiología del mismo.



**Ilustración 1.** Proceso de Digestión Anaeróbica.

**Fuente:** Señor, Rodrigo (2005). Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaeróbica de residuos Alimentarios.



**Ilustración 2.** Microbiología de la Digestión Anaeróbica .

**Fuente:** Señor, Rodrigo (2005). Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaeróbica de residuos Alimentarios.

## II.4. Biodigestor

Un digestor de desechos orgánicos o Biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales en determinada dilución de agua para que a través de la descomposición de la materia orgánica se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos y desperdicios. El material resultante de la biodigestión, o efluente, puede ser directamente usado como abono y como acondicionador del suelo, pues los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles, mientras los otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y su disponibilidad.

### II.4.1. Tipo de Biodigestores

Los Biodigestores pueden ser clasificados por su régimen de operación. En un boletín N° 5, editado y publicado por el Instituto de Investigaciones Porcinas (2005) establece fundamentalmente tres tipos de Biodigestores, los cuales coloca como los más utilizados en el área agrónoma.

#### II.4.1.1. Biodigestores de Flujo Continuo

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches (ej. una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua), (López, 2008).

##### II.4.1.1.1. Campana Flotante o Tipo Hindú

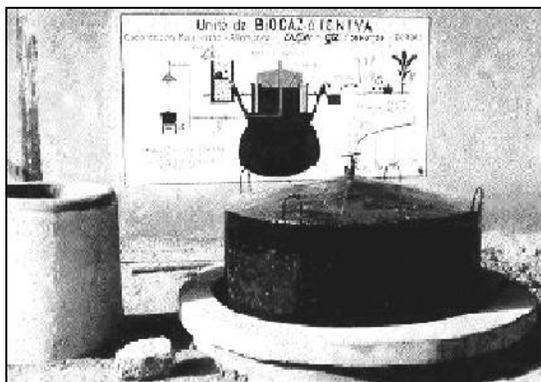
“Es el más popular en ese país donde varias instituciones hasta 1985 han construido diferentes tipos de estas plantas resultando la instalación de más de 460.000 unidades. Aunque una parte fueron construidas con ladrillos, cemento y acero para la campana que flota sobre el residual del digestor que es donde se almacena el biogás, más tarde se desarrolló la tecnología KVIC con campana de diversos materiales como: ferro cemento, fibra de vidrio, de polietileno de alta densidad, de PVC, de láminas rígidas de PVC y hasta de cemento y bambú. Esta variante se construye de forma vertical u horizontal, y en cuanto a su uso social y volumen pueden ser individuales o comunales.

Este tipo de Biodigestor como el que se muestra en la **Ilustración 3**, está compuesto principalmente por una campana de acero que flota sobre el

digestor, a medida que el biogás ejerce presión la misma sube almacenando el gas producido, además dispone de depósito para la recepción de los residuales y tuberías de entrada y salida. A diferencia de la campana, el resto de los materiales que se utilizan en su construcción son materiales convencionales”<sup>9</sup>.

Los Biodigestores de este grupo tienen dos estructuras: la primera al igual que en los de estructura sólida fija, va enterrada y hecha en concreto, bloque o ladrillo; la segunda en la mayoría de los casos es una campana metálica que “flota” sobre la primera estructura.

Se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante. Esta campana puede flotar en la masa de fermentación o en un anillo de agua. Las ventajas de este tipo de planta son que trabajan a presión constante y se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana; pero tiene como desventaja que está expuesto a la corrosión ya que las campanas son generalmente metálicas. Últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio y se han obtenido buenos resultados. Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento, debido al uso periódico de pintura anticorrosiva. (López, 2008).



**Ilustración 3.** Biodigestor de Cúpula Flotante o Tipo Hindú  
**Fuente:** Boletín Nº 5 Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP, 2007)

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. 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. El gasómetro está integrado al sistema, en la parte

<sup>9</sup>BOLETIN Nº 5 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS. Mayo 2007

superior del pozo se tiene una campana flotante donde se amacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm., de columna de agua. Por lo general el volumen del gasómetro es del orden de 1/3 del biogás generado al día.<sup>10</sup>

Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor.

#### ***II.4.1.1.2. Tipo Tubular, Horizontal o Plug Flow***

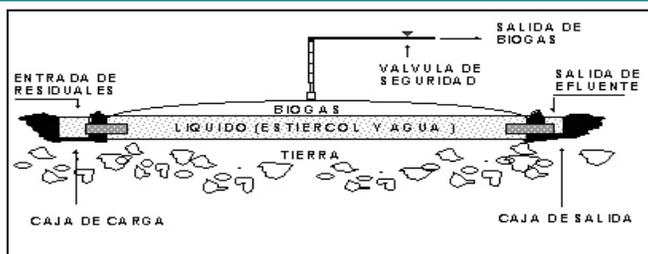
“Fabricados de goma, polietileno o Red-Mud-Plástico (RMP). Este último material fue desarrollado por primera vez en Taiwán y después en China donde ha demostrado sus excelentes cualidades para ser usado en biodigestores. Este material producido en forma laminar es una mezcla de lodos rojos residuales de la extracción de la bauxita y contiene PVC, plasticador, estabilizador y otros ingredientes. Al principio los digestores de RMP se hacían tubulares, mas tarde se construyeron en forma de tiendas de campaña. También de esta forma se han construido biodigestores en Nepal, pero de PVC. Este sistema es sencillo y económico, apropiado para las granjas pequeñas. Posee tuberías de entrada y salida de los residuales y como elemento fundamental una bolsa de polietileno que sirve de digestor”.<sup>11</sup>

Como fruto de las investigaciones se han estado promoviendo biodigestores que van desde 3 hasta 100 metros cúbicos construidos con polietileno tubular calibre 8 con un diseño que incluye cajas de entrada y salida del material líquido. Las principales ventajas de este tipo de Biodigestor, comparado con otros diseños y materiales, son su bajo costo, su facilidad de construcción, instalación y manejo, y su mínimo mantenimiento. (López 2008). En la **Ilustración 4** se muestra un modelo de este tipo de Biodigestor.

---

<sup>10</sup> Solari, Giannina. (2004) PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIGESTIÓN BATCH DE 10 M3 DE CAPACIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS UTILIZANDO LOS RESIDUOS VACUNOS DEL L FUNDO AGROPECUARIO DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS. Perú

<sup>11</sup> BOLETIN Nº 5 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS. Mayo 2007.



**Ilustración 4.** Biodigestor Tipo Tubular o Plug Flow

Fuente: Boletín Nº 5 Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP, 2007)

### **II.4.1.2. Biodigestores de Flujo Semi-Continuo**

#### **II.4.1.2.1. Cúpula Fija o Tipo Chino**

Alrededor de 7 millones de plantas han sido construidas en China, las cuales son fabricadas de distintas formas y capacidades, con diferentes materiales pero tienen un diseño básico en el que el biogás es colectado en una cúpula fija. Este tipo de Biodigestor está compuesto por un registro de carga, el digestor y un tanque de compensación. Este modelo se construye el cilindro con bloques de hormigón y la cúpula con ladrillos de barro. Para la construcción se necesita de albañiles capacitados en este tipo de obra con el asesoramiento de personal especializado.<sup>12</sup>

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico.

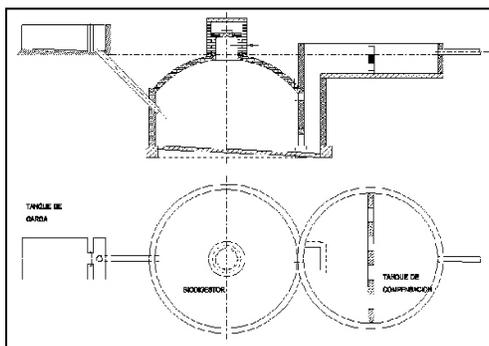
En lo que respecta a los digestores tipo chino, estos son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema.<sup>13</sup>

El modelo de cúpula fija tiene como principal característica que trabaja con presión variable; sus principales desventajas, son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser completamente hermética, ello implica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en impermeabilizantes. Sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir a nivel local, así como la

<sup>12</sup> BOLETIN Nº 5 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS (IIP) . Mayo 2007

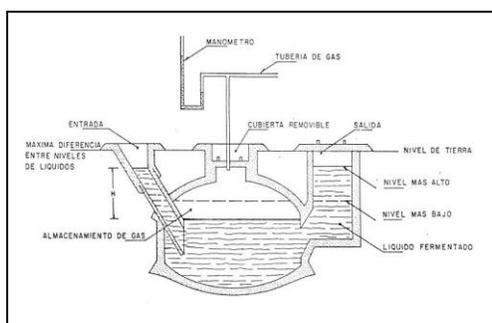
<sup>13</sup> Solari, Giannina,(2004).PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIGESTIÓN BATCH DE 10 M3 DE CAPACIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS UTILIZANDO LOS RESIDUOS VACUNOS DEL L FUNDO AGROPECUARIO DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS.. Perú

inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y una larga vida útil si se le da mantenimiento, además de ser una construcción subterránea. (López, 2008). A continuación en la **Ilustración 5 y 6** se muestra esquematizaciones de este tipo de Biodigestores.



**Ilustración 5.** Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino

Fuente: Boletín Nº 5 Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP, 2007)



**Ilustración 6.** Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino

Fuente: Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino, (2004). Recuperado de Julio 2011 de <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>

### **II.4.1.3. Biodigestores de Flujo Discontinuo**

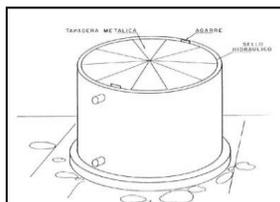
La carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo. (López 2008).

“Los de régimen estacionario o flujo discontinuo son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida

de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (CEMAT, 1977) ”.<sup>14</sup>

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas. La alimentación del digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo chino e hindú. En la **Ilustración 7** se muestra una ilustración de este tipo de Biodigestores.<sup>15</sup>



**Ilustración 7.** Biodigestor Régimen Discontinuo

**Fuente.** Proyecto de construcción de un sistema de digestión Batch de 10 m<sup>3</sup> de capacidad para la producción de biogás utilizando los residuos vacunos del I Fundo agropecuario de la Universidad Alas Peruanas

## II.5. Biogás

Marti (2006), define al Biogás como una mezcla gaseosa formada, principalmente, por metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases, como por ejemplo: H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc. La composición o riqueza del Biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> Ramón, J. A; Romero, L. F., Simanca, J. L. *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE CANECAS EN SERIE PARA OBTENER GAS METANO Y FERTILIZANTES A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE EXCREMENTOS DE CERDO.*

<sup>15</sup> Solarí, Giannina.(2004) *PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIGESTIÓN BATCH DE 10 M3 DE CAPACIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS UTILIZANDO LOS RESIDUOS VACUNOS DEL L FUNDO AGROPECUARIO DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS.* Perú

<sup>16</sup> Martí; N,(2006). *PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO EN UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (PHOSPHORUS PRECIPITATION IN A ANAEROBIC DIGESTION PROCESS).*USA

### II.5.1. Composición del Biogás según el Material Digerido

Como ya se expuso con anterioridad, la composición o riqueza del Biogás varia según el material digerido, a continuación en la **Tabla 1**, se presentan los porcentajes de Biogás generado, según el material digerido.

**Tabla 1.** Componentes del Biogás en función del sustrato utilizado (Coombs, 1990).

Componente	Res. Agrícolas	Lodos de Depura	Res. Industriales
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	50-80 %	50-80%	50-70%
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	20-50%	20-50%	30-50%
<b>Agua (H<sub>2</sub>O)</b>	Saturado	Saturado	Saturado
<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</b>	0-2%	0-5%	0-2%
<b>Sulf. De Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</b>	100- 700 ppm	0-1%	0-8%
<b>Amoníaco (NH<sub>3</sub>)</b>	Trazas	Trazas	Trazas

Fuente: Señor, Rodrigo (2007). Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaeróbica de residuos Alimentarios.

### II.6. Biól o Efluente

Martí (2006), define el efluente como el otro producto resultante de la degradación anaeróbica y se puede decir que es la mezcla del influente estabilizado y de la biomasa microbiana estabilizada. Para un mismo residuo, el tipo de reactor y los parámetros de operación determinaran la calidad de lodo digerido en cuanto al nivel de contaminación y de organismos patógenos.<sup>17</sup>

### II.7. Modelos de Biodigestión

Ya abarcado el tema de los distintos tipos de Biodigestores existentes, y su funcionamiento, es necesario dar una visión de los distintos modelos de biodigestión existentes, y las zonas donde este tipo de tecnología es actualmente aplicada.

#### II.7.1. Biodigestión a Nivel Rural o Casero

Como lo presenta Martí (2008), son altamente utilizados en zonas rurales o granjas, donde una familia puede llegar a poseer 3 o más cabezas de ganado. Principalmente utilizan como materia prima el estiércol que producen estas cabezas de ganado, lo cual no quiere decir que, no puedan también ser alimentados con desperdicios de cocinas, o cualquier otro tipo de desecho

<sup>17</sup> Martí; N, (2006) PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO EN UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (PHOSPHORUS PRECIPITATION IN A ANAEROBIC DIGESTION PROCESS).USA

orgánico, produciendo Biogás y fertilizante. El Biogás generado puede ser utilizado como combustible en las cocinas, calefacción e iluminación, mientras que el Biól es empleado como fertilizante natural, mejorando fuertemente el rendimiento de las cosechas. En Sudamérica, sólo países como, Cuba, Colombia, Brasil, Bolivia, entre otros, han llevado a cabo el desarrollo de este tipo de tecnología, mayormente en las zonas rurales, debido a que estos modelos de Biodigestores familiares, construidos a partir de mangas tubulares de polietileno, (Biodigestor del tipo Plug Flow, Régimen Continuo), se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación, y mantenimiento, así por tan sólo requerir de materiales locales para su construcción. En la **Ilustración 21 (Véase ANEXO 1)**, se presenta un ejemplo de este tipo de Biodigestores familiares instalado en Bolivia a 4221 metros sobre el nivel del mar.

El Biodigestor Familiar que se presenta en la **Ilustración 21 (Véase ANEXO 1)**, produce biogás suficiente para cocinar 4-5 horas al día, alimentándolo con 20 kg de estiércol fresco y 60 litros de agua diariamente. Produce además 80 litros de fertilizante al día.

Marti, (2008), expone que es de importante consideración la acumulación de estiércol cerca de las viviendas, ya que supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecen al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar. También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera. En la **Ilustración 22 (Véase ANEXO 1)**, se presenta una pequeña hornilla que se encuentra conectada a la alimentación de Biogás generado por el biodigestor casero.

Usualmente, se realiza una mezcla agua y estiércol en una proporción de 1:3 ó 1:4 en este tipo de sistemas caseros.<sup>18</sup>

### **II.7.2. Biodigestión a Nivel Industrial**

La digestión anaerobia se produce de forma natural cuando se dan las condiciones adecuadas. A nivel industrial se puede controlar la reacción para optimizar el proceso y aprovechar el biogás desde el punto de vista energético: debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico alto (entre 4500

---

<sup>18</sup> Martí, J. (2008). *GUÍA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACIÓN DE BIODIGESTORES FAMILIARES*. PROAGRO. Bolivia

y  $6500 \text{ kcal/m}^3$ ), salvo que por el contenido en  $\text{H}_2\text{S}$ , es un combustible ideal. Las aplicaciones energéticas principales del uso del biogás son las eléctricas y las térmicas, aunque se pueden dar las dos conjuntamente en instalaciones de cogeneración, siendo ésta una de las aplicaciones más racionales que se puede hacer del biogás. Por lo general, la electricidad se vende a la red y el calor se emplea en el propio ciclo industrial para el calentamiento de los digestores o en otros procesos que requieran calor.

El biogás se emplea con menos frecuencia para la iluminación (mediante lámparas especiales), para la obtención de trabajo mecánico (a través de motores) y para la calefacción (mediante quemadores y estufas adaptadas). Por otra parte, el uso del biogás para vehículos es posible, pero se encuentra muy limitado por una serie de problemas técnicos, logísticos y de seguridad.

Actualmente las principales limitaciones del proceso, es decir, los elevados costes y la baja productividad, impulsan la necesidad de futuras investigaciones encaminadas a mejorar el proceso de digestión anaerobia contribuyendo no solo a la disminución de contaminantes como el metano, sino también a la producción de fuentes de energía renovables como el biogás.<sup>19</sup> En la **Ilustración 23 (Véase ANEXO 1)**, se presenta un tanque empleado para la Biodigestión de desperdicios urbanos.

## **II.8. Parámetros**

Para el control efectivo de un proceso o un conjunto de ellos, se deben tener en cuenta los lineamientos y parámetros de control, que ejerzan la función de indicadores de cómo el proceso se encuentra desarrollando, si es eficiente su funcionamiento o por lo contrario, no se desarrolla de la manera adecuada ni se están obteniendo los resultados esperados. En los procesos de biodigestión, los parámetros de control o indicadores de la gestión del efectivo funcionamiento del proceso, son los siguientes:

### ***II.8.1. Temperatura y Tiempo de Retención***

En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes

---

<sup>19</sup> *DESECHOS ORGÁNICOS URBANOS, ENERGÍA DEL FUTURO.* (2011). Recuperado 18 de Mayo 2011 de <http://www.biomasaweb.com/2011/03/desechos-organicos-urbanos-energia-del-futuro/>

poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas donde su mayor rendimiento es a 70°C de temperatura, pero para ellos habría que calentar el lodo interior del biodigestor. Hay otras poblaciones en que su rango óptimo de trabajo es de 30 a 35 °C. Estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo. En Biodigestores sin sistema de calefacción se depende de la temperatura ambiente, que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimo. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan “dormidas” y no producen más biogás.

Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias, que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.<sup>20</sup>A continuación en la Tabla 2 se presentan los tiempos de retención según la temperatura:

**Tabla 2.** *Tiempo de Retención según Temperatura*

Región Característica	Temperatura (°C)	Tiempo Retención (Días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Altiplano	10	60

Fuente: Martí, J. (2008). *Guía de Diseño y Manual de instalación de Biodigestores Familiares*. PROAGRO. Bolivia.

### **II.8.2. pH y Alcalinidad**

El valor óptimo de pH está en el rango de 6,6 a 7,6. Los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que se producen durante el proceso de digestión reducen el pH en la fase líquida del digestor. Si las bacterias metanogénicas no pueden convertir los AGCC tan rápidamente como son formados por las bacterias acetogénicas, los AGCC se acumularán y causarán un descenso en el pH del

<sup>20</sup> Martí, J. (2008). *GUÍA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACIÓN DE BIODIGESTORES FAMILIARES*. PROAGRO. Bolivia

medio. Sin embargo, el equilibrio CO /HCO en el digestor ejerce una resistencia sustancial a los cambios de pH. Hay dos modos operacionales principales para corregir una condición desbalanceada de bajos pH en el Biodigestor:

- La primera forma es detener la carga del biodigestor y permitir durante cierto tiempo que la población metanogénica reduzca la concentración ácida y que entonces el pH se eleve a un valor cercano al óptimo, pero esta operación a su vez hace más lenta la actividad bacteriana, reduciendo de esta forma la formación de AGCC.
- Un segundo método involucra la adición de sustancias tampones o buffer para elevar el pH sin cambiar el ritmo de carga del digestor. Una ventaja de la adición de tampones es que el pH puede rectificarse más rápidamente. Se suele usar para ello la cal. El carbonato de sodio, aunque es más caro, puede prevenir la precipitación de carbonato de calcio.<sup>21</sup>

### **II.8.3. Nutrientes**

Martí (2006), expone que diversos autores han estudiado una relación necesaria entre los nutrientes mayoritarios, el nivel de nutrientes para la microflora, debiera ser por lo menos superior al valor óptimo (relación C:N entre 15-30:1), junto con una fuente de energía en forma de carbono orgánico, los microbios requieren nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que originan efectos complejos.<sup>22</sup>

Puesto que los distintos materiales que se fermentan en el biodigestor tienen diferentes composiciones químicas, la producción de biogás se producirá a distintos ritmos. Se ha informado que el gas producido por distintos tipos de cargas, los materiales con alto contenido de nitrógeno, tales como las excretas de animales, se descomponen fácilmente y producen biogás de una forma rápida; por lo tanto, el período fermentativo es corto. La descomposición de materiales con un alto contenido de carbono es más lento, por ello el período fermentativo es más largo. Los materiales con diferentes proporciones de carbono/nitrógeno (C/N) difieren ampliamente en sus rendimientos en biogás.<sup>23</sup>

---

<sup>21,22</sup>BOLETIN Nº 5 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS (IIP). Mayo 2007

<sup>23</sup>Martí; N, (2006). PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO EN UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (PHOSPHORUS PRECIPITATION IN A ANAEROBIC DIGESTION PROCESS) USA

El valor C/N para la excreta porcina es bajo, mientras que en la paja de arroz es alto. Aunque las condiciones de fermentación y el monto de sólidos totales en ambos tipos de materiales era el mismo, se halló una diferencia de 58-105% en la producción de biogás.

## **II.9. Ingeniería Concurrente**

Según el instituto para el Análisis de la Defensa de los Estados Unidos (IDA) el término de “ingeniería concurrente” se define como “un método sistemático de diseño integrado y simultáneo del producto y de los subsiguientes procesos de fabricación y mantenimiento, con el objetivo de que los diseñadores tomen consideración, desde el primer momento, todos los factores que afectarán al producto a lo largo de su ciclo de vida (desde su concepción hasta su retirada), incluyendo calidad, coste, plazos y requerimientos de usuario”<sup>24</sup>.

### **II.9.1. Objetivos de la Ingeniería Concurrente**

- Incrementar las ventas y las ganancias de nuevos productos.
- Reducir el tiempo de salida de los productos en el mercado.
- Reducir los costos de mano de obra y capital.
- Incrementar la calidad de los productos.
- Apalancar los conocimientos y la experticia en el desarrollo de productos.

### **II.9.2. Principios de la Ingeniería Concurrente**

Para implantar la Ingeniería concurrentes en una industria es necesario introducir tres tipos de principio:

- **Principios Organizacionales:** Los cuales se basan en introducir nuevas estructuras organizativas, actitudes orientadas al cliente y a la colaboración con proveedores, promoción de la cooperación interdepartamental, incremento de la responsabilidad del trabajador, mejora en la formación de los recursos humanos, fomento de las habilidades de liderazgo y de coordinación, etc.
- **Principios de mejoras de Procesos:** Orientados al desarrollo y mejora continua de las actividades del ciclo de vida del producto, intentando su paralelización siempre que sea posible. Para aplicar estos principios es necesaria la utilización de tecnologías asistidas por computador,

---

<sup>24</sup> Capuz, S. (1999). *INTRODUCCIÓN AL PROYECTO DE PRODUCCIÓN: INGENIERÍA CONCURRENTE PARA EL DISEÑO DE PRODUCTO*. Universidad Politécnica de Valencia, servicio de Publicaciones.

metodologías sistemáticas de diseño, técnicas de control estadístico, entre otros.

- **Principios de gestión de la Información:** Estos buscan alcanzar altos niveles de integración de la información y del conocimiento, así como la adecuada gestión de los recursos humanos y corporativos de la empresa.

## II.10. Actividades Primarias y de Apoyo

En todo proceso productivo, existe lo que se conoce como actividades primarias y de apoyo, a continuación se realiza una breve explicación:

- Se entiende por **Actividades Primarias**, al conjunto de estas que son desarrolladas únicamente para el desenvolvimiento del proceso productivo, es decir, sin estas el proceso productivo desaparece completamente, ya que, el intercambio de información y material entre estas es aquello que define al proceso en sí, como por ejemplo, recepción de materia prima, transporte de materiales, procesamiento, despacho de producto terminado, entre otras.
- En un proceso productivo, se entiende por **Actividades de Apoyo o Secundarias**, a aquellas que como indican su nombre, brindan apoyo al proceso productivo, y este no depende directamente de ella, como por ejemplo, recursos humanos, limpieza, seguridad, entre otras.

## II. 11. Método de Selección de Factores Ponderados

El método permite una fácil identificación de los factores más relevantes que se deben tomar en mayor consideración al momento de realizar el diseño, por medio de la asignación de distintas ponderaciones a cada uno de estos aspectos. Los pasos a seguir para la aplicación del método son los siguientes:

- Desarrollo de una lista de factores relevantes.
- Asignar una ponderación a cada factor para revelar su importancia relativa.
- Desarrollo de una escala de evaluación para cada factor.
- Calificar cada factor, utilizando la escala mencionada en el paso anterior.
- Multiplicar cada calificación por los pesos de cada factor, y totalizar la calificación para cada uno de estos.

- Hacer una recomendación, basada en la máxima calificación en puntaje.

## II.12. Herramientas para la Distribución en Plantas Industriales

Para realizar la distribución de las áreas que conforman una planta industrial es necesario aplicar un conjunto de herramientas analíticas que efectúen este proceso, estas son:

- **Diagrama de Actividades:** El Diagrama de Actividades, al que también se le da el nombre de Diagrama de Análisis de Afinidades, muestra las relaciones de cada departamento, oficina o área de servicios, con cualquier otro departamento y área. Responde a la pregunta ¿Qué tan importante es para este departamento, oficina o instalación de servicios, estar cerca de otro departamento, oficina o instalación de servicios? Este cuestionamiento necesita plantearse en forma imprescindible. Se usan códigos de cercanía para reflejar la importancia de cada relación.<sup>25</sup>
- **Diagrama de Nodos:** Diagrama el cual se emplea con la finalidad de reflejar las relaciones entre cada uno de los departamentos, oficinas o área de servicios y una posible distribución entre los departamentos, oficinas o área de servicios, según el flujo de material y personal entre estos.<sup>26</sup>
- **Diagrama Adimensional de Bloques o de Grilla:** Representa el primer intento de distribución y resultado del diagrama de Relación entre Actividades y el Diagramas. Aún cuando esta distribución es adimensional, será la base para hacer la distribución maestra.<sup>27</sup>

## II.13. Marco Jurídico

La protección del ambiente y la utilización de los recursos que este provee ha sido durante las últimas décadas un tema de suma relevancia alrededor del mundo y para la mayoría de los gobiernos. **(Véase ANEXO 2).**

---

<sup>25-26</sup> Meyers Fred E, Stephens Matthew P. "DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES". Pearson Educación, 2006, tercera edición.

### **II.14. Valor Presente Neto**

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados de la inversión inicial.<sup>28</sup>

### **II.15. Tasa de Rendimiento Atractiva Mínima**

Es el valor fijado por los encargados del proyecto, el cual fija el valor mínimo que esperan estos que le retorne la inversión<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup>,<sup>29</sup> Sullivan W, Wicks L, Whoj E. *“Ingeniería Económica de Garmo”*. Pearson Education, 2004

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

La metodología a aplicar durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado se puede comprender como la implementación de tres tipos de investigaciones. La primera de ellas, Investigación Documental, refiriéndose esta, a la recolección de información necesaria para el desarrollo del proyecto, Investigación de Campo, entendiéndose como el levantamiento de datos, muestras y pruebas piloto que puedan llegar a realizarse, por último se tiene la Investigación Proyectiva, que busca la solución de un problema existente y la generación de alternativas para la resolución del mismo.

### III.1. Tipos de Investigación

Las siguientes investigaciones se desarrollaron simultáneamente durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado:

#### ***III.1.1. Investigación de Campo***

Según la UPEL (Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, 2003), con respecto a la modalidad de estudio de investigación y de la naturaleza del proyecto de investigación, en su sección primera de la investigación de campo, expresa:

Se entiende por investigación de campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad, en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios.

#### ***III.1.2. Investigación Documental***

Sobre investigación documental Arias Fideas (2006), expresa lo siguiente:

Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas, las fuentes de información pueden ser documentales, datos secundarios y fuentes vivas, sujetos que aportan datos primarios. La investigación documental se podrá clasificar en: Monográfica, consiste en el

desarrollo amplio y profundo de un tema específico; y Estudios de Medición a Partir de Datos Secundarios, se fundamenta en la utilización de documentos de cifras o datos numéricos obtenidos y procesados anteriormente.

### **III.1.3. Investigación Proyectiva**

“También conocida como proyecto factible, consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema. Intenta responder preguntas sobre sucesos hipotéticos del futuro (de allí su nombre) o del pasado a partir de datos actuales. Se ubican las investigaciones para inventos, programas, diseños”<sup>30</sup>.

Hurtado (2008) define la Investigación Proyectiva como el tipo de investigación, que consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento. Los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con base a los resultados de un proceso investigativo previo.<sup>31</sup>

### **III.2. Estructuración Metodológica**

La estructuración de la Metodología fundamentalmente se desarrollará en 3 etapas las cuales se encuentran vinculadas directamente a cada uno de los objetivos específico planteados en el **Capítulo I** y cuya vinculación se explica en la **Tabla 3**. Las etapas son las siguientes:

---

<sup>30</sup> Zorrilla Arena, Santiago (2007). *INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.

<sup>31</sup> *LA INVESTIGACIÓN PROYECTIVA* (2008). Recuperado el 30 de Marzo del 2011 de <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/02/la-investigacin-proyectiva.html>

**Tabla 3. Estructuración Metodológica**

Etapas	Objetivos	Actividades	Herramientas
<b>1. Investigación Documental</b>	1. Evaluar la situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento de los residuos sólidos no compostables de la UCAB.	1. Investigación en Trabajos Especiales de Grado y Bibliografía relacionada con el tema.	1. Fuentes Bibliográficas.
	2. Definir Objetivos para el aprovechamiento de los Residuos Sólidos. 3. Establecer los Requerimientos de Funcionamiento y especificaciones de diseño para un Biodigestor.	2. Consulta con profesores y expertos en el tema que aporten parte de sus conocimientos al desarrollo del TEG.	2. Entrevistas no Estructuradas.
<b>2. Desarrollo Diseño Conceptual</b>	3. Establecer los Requerimientos de Funcionamiento y especificaciones de diseño para un Biodigestor.	3. Evaluación de los Trabajos de Grado y Pasantías ya realizados con anterioridad dentro del campus de la UCAB.	3. Fuentes Bibliográficas y en Línea.
	4. Desarrollar una Matriz de Diseño.	1. Realizar un análisis comparativo de los distintos tipos de Biodigestores existentes y en funcionamiento en el mercado. 2. Realizar la ponderación para cada uno de los diferentes aspectos a considerar para el diseño. 3. Montaje de prototipos a escala.	1. Método Ponderado para la toma de decisiones. 2. Montaje de Experimentos.
	5. Generar Alternativas.	1. Evaluar y Seleccionar. 2. Aplicación de Lombrices Californianas al Efluente (Biól) para su enriquecimiento.	3. Lombrices Californianas.
		3. Realizar el diseño conceptual de una planta donde se pueda realizar la localización del Biodigestor.	4. Fuentes Bibliográficas.

Fuente. *Elaboración Propia*

**Tabla 3. Estructuración Metodológica (Continuación)**

Etapas	Objetivos	Actividades	Herramientas
3. Desarrollo de un Plan de Implementación	6. Evaluar Técnica y Económicamente la propuesta y seleccionar la mejor alternativa.	1. Cálculo del Costo de la Inversión.	1. Hojas de Cálculo.
		2. Cálculo de Costos Operativos.	2. Consulta con Proveedores y vía Internet.
		3. Cálculo del Valor Presente Neto.	3. Fuentes Bibliográficas.
		4. Análisis Costo- Beneficio.	
		5. Analizar y Evaluar los factores involucrados en el aspecto técnico, tales como, dimensiones de la planta, localización, maquinaria, embarque de materia prima, recolección de producto, producción, personal, seguridad, entre otros.	1. Referencias Bibliográficas referentes al diseño de platas y estructuras industriales.
	7. Desarrollar un Plan de Implementación.	1. Diseñar la secuencia de actividades para la implementación.	1. Referencias bibliográficas referentes a Ingeniería de Métodos.

Fuente. *Elaboración Propia*

### 1era Etapa: Investigación Documental

Estudio de procesos Anaeróbicos. Comprendiéndose por esto a la recolección de bibliografía referente al tema. Funcionamiento de Biodigestores, Tipos de Biodigestores, instalación, parámetros de control para el debido funcionamiento, parámetros de diseño, entre otros.

### 2da Etapa: Desarrollo del Diseño Conceptual

Para el desarrollo de diseño conceptual se determinaron los volúmenes de desechos orgánicos no compostables que se producen en el campus de la Universidad, en función de esto se realizaron los respectivos cálculos referentes a los volúmenes de Biogás y Biól a generar. Estimación de tiempos. Determinación de los tipos de materiales a emplear. Estudio de Rentabilidad.

“El diseño conceptual de ingeniería de producto se refiere a la concepción del mismo. En esta fase se requiere la aportación de nuevas ideas para obtener nuevas funciones o prestaciones, por tanto es la fase creativa de

todo el proceso de ingeniería de innovación de producto. La calidad de las ideas dadas en la fase creativa, hará posible la calidad innovadora del producto final. En estos diseños conceptuales de ingeniería, la propia experiencia del producto que tenga el equipo de diseño tiene mucho que ver con lo que puedan idear. El ingeniero diseñador debe apoyarse en su experiencia y también, en obtener información variada, especialmente en captar los deseos de los futuros usuarios del producto. De este modo, las técnicas que debe usar para desarrollar las ideas más plenamente, han de ser un conjunto formado por las conocidas técnicas de creatividad (Michalko, 2001), (De Bono, 1994), (Sternberg, 1999), por la teoría de resolución de problemas inventivos (TRIZ), (Altshuller, 2000), y por la captación de deseos u opiniones de los usuarios, o diseño centrado en los usuarios (Tomico, Pifarré, Lloveras, 2006)<sup>32</sup>.

### **3era Etapa: Desarrollo de un Plan de Implementación**

Esta última etapa tomó en cuenta los resultados obtenidos en el diseño conceptual, el estudio técnico y el estudio económico, con ello fue trazado un plan conformado por una serie de pasos lógicos, que lleven a cabo la implementación de la propuesta. Esta etapa involucró el diseño de una secuencia de actividades y recursos necesarios para este propósito.

---

<sup>32</sup> **CREATIVIDAD EN EL DISEÑO CONCEPTUAL DE INGENIERÍA DE PRODUCTO.**(2007). Recuperado el 11 de Mayo de 2011, de <http://www.creatividadysociedad.com/articulos/10/Creatividad%20y%20Sociedad.%20Creatividad%20en%20el%20diseno%20conceptual%20de%20ingenieria%20de%20producto.pdf>

## CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL

Para elaborar una propuesta de un Biodigestor, capaz de aprovechar los desechos no compostables generados en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), se debe seguir una secuencia de pasos lógicos, los cuales deben operar de manera simultánea, permitiendo el desarrollo de un diseño concreto y sin fallas. Como primera fase es necesario evaluar las fuentes de generación, los requerimientos existentes y la situación actual en cuanto a las condiciones de manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en particular aquellos desperdicios que no se puedan procesar a través de un proceso de compostaje, determinar los volúmenes de estos, que se generan en el campus, con la finalidad, de conocer con certeza las necesidades que deben ser solventadas por la propuesta de diseño a generar.

### **IV.1. Evaluación de las fuentes de generación, situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento de residuos orgánicos no compostables en de la UCAB**

Los siguientes aspectos fueron tomados en consideración para la propuesta de diseño:

#### ***IV.1.1. Generación de Residuos Orgánicos No Compostables***

Se pueden diferenciar tres fuentes de generación diferentes, a partir del suministro de los proveedores, que sería la fuente de generación primaria, entendiéndose por suministro de los proveedores como aquellos que ocasionan la generación para las siguientes fuentes, como por ejemplo, proveedores de todos los establecimientos de comida y bebida, los proveedores de los centros de copiado, entre otros, ya que al no existir esta fuente primaria, luego las fuentes de generación secundarias: concesionarios de bebidas y alimentos, centros de copiado, escuelas, oficinas, jardinería y por otro lado fuentes de generación terciarias como: los consumidores finales, mantenimiento y limpieza.<sup>33</sup> Esto relacionado a toda la generación de residuos tanto orgánicos como no orgánicos, que se producen en el campus universitario, pero, ya que

---

<sup>33</sup> Panyella, Mónica A; (2010) *DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN DESTINADA AL MANEJO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA UCAB, CAMPUS CARACAS* Informe de Pasantías. Universidad Católica Andrés Bellos. Caracas, Venezuela.

los residuos orgánicos no compostables no se encuentran excluidos de estas fuentes de generación, es básico conocer la existencia de los mismos.

Ya descritas las principales fuentes de generación de residuos, puede ser abarcado el tema de la generación de residuos orgánicos no compostables. La principal fuente de este tipo de residuos, son los establecimientos de alimentos que existen en del campus universitario, tales como, los cafetines, los comercios de comida que se encuentra ubicados en la feria del edificio cincuentenario, el cafetín que se encuentra en la casa del estudiante (Solarium), entre otros. Así como, también son una fuente de generación de residuos orgánicos, aquellos productos de la poda de los jardines y jardinerías. A continuación se presentan en las **Tablas 4, 5, 6** y por último la **Tabla 7**, los volúmenes promedio de generación diaria, por período académico, para el año 2010 de cada tipo de desperdicio producido, por las ya mencionadas fuentes, hay que agregar que para la determinación de los kilogramos y volúmenes diarios para cada período, la producción de desperdicios (No compostables de cocina, café base seca, café base húmeda y desechos de jardín), se consideró que se distribuía equitativamente en cada uno de estos.

**Tabla 4. Desperdicios de Cocina**

<b>Kilogramos Desperdicios No compostables de cocina (año 2010)</b>				
<b>Períodos</b>	<b>Oct-Feb</b>	<b>Mar-Jul</b>	<b>Ago-Sep</b>	<b>Total</b>
<b>Kg Desperdicios (Período)</b>	23.799	26.967	7.321	58.087,00
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	212,49	240,78	87,15	Densidad= 225 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Volúmenes Diarios ( m3)</b>	0,94	1,07	0,39	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

**Tabla 5. Desperdicios No compostables de Cocina (Café Base Seca)**

<b>Kilogramos Desechos No compostables de cocina (café base seca), (año 2010)</b>				
<b>Períodos</b>	<b>Oct-Feb</b>	<b>Mar-Jul</b>	<b>Ago-Sep</b>	<b>Total</b>
<b>Kg Desechos (Período)</b>	1.530	1770,00	321,00	3.621,00
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	13,66	15,80	3,82	Densidad= 400 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Volúmenes Diarios ( m3)</b>	0,03	0,04	0,01	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

**Tabla 6. Desperdicios No compostables de Cocina (Café Base Húmeda)**

<b>Kilogramos Desechos No compostables de cocina (café base Húmeda), (año 2010)</b>				
Períodos	Oct-Feb	Mar-Jul	Ago-Sep	Total
<b>Kg Desechos (Período)</b>	1.409,00	1783,00	184,00	3.376,00
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	12,58	15,92	2,19	Densidad= 800 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Volúmenes Diarios ( m3)</b>	0,02	0,02	0,003	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial*

**Tabla 7. Materia Seca**

<b>Kilogramos de Materia Seca (Desechos de Jardín), (año 2010)</b>				
Períodos	Oct-Feb	Mar-Jul	Ago-Sep	Total
<b>Kg Desechos (Período)</b>	16960,00	21210,00	16960,00	55130,00
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	151,43	189,38	201,90	Densidad= 150 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Volúmenes Diarios ( m3)</b>	1,01	1,26	1,35	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

Se debe acotar, que desechos como el papel y el cartón pueden ser empleados dentro de una mezcla, la cual será sometida a digestión anaeróbica o igualmente a un proceso de compost, con la excepción de aquellos que se encuentren tintados. Los Kilogramos diarios de generación de estos se presentan en las **Tablas 8 y 9** respectivamente.

**Tabla 8. Papel sin tintas**

<b>Kilogramos de Papel sin tintas (año 2010)</b>				
Períodos	Oct-Feb	Mar-Jul	Ago-Sep	Total
<b>Kg Desechos (Período)</b>	7.796	8.574	677	16.370,00
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	69,61	76,55	8,06	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

**Tabla 9. Cartón sin tintas**

<b>Kilogramos de Cartón sin tintas (año 2010)</b>				
Períodos	Oct-Feb	Mar-Jul	Ago-Sep	Total
<b>Kg Desechos (Período)</b>	3.886	3.712	320	7.918
<b>Kg Desperdicios Diarios</b>	34,70	33,14	3,81	

*Fuente: Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

Para el diseño del Biodigestor, y la conformación de la materia prima, la cual será sometida al proceso de digestión anaeróbica, no se tomarán en cuenta los kilogramos generados de papel y cartón no tintados, ya que el proceso de degradación de ambos, es aproximadamente de 2 a 6 meses, lo que produciría un aumento en el tiempo de retención de la mezcla dentro del reactor. Igualmente, este tipo de desechos, se descomponen mejor en presencia de oxígeno, lo que los hace más aptos para su utilización en procesos de generación de compost.

Por otro lado, se tiene otra fuente de generación de residuos orgánicos no compostables, cuyo volumen de producción no ha sido cuantificado, ya que no se ha realizado la medición de la generación de los mismos y escapa al alcance de este Trabajo Especial de Grado. Aquellos, productos de las actividades cotidianas del estudiantado, el cuerpo docente, personal administrativo y obrero, quienes no consumen en de las instalaciones de alimento existentes, sino, por lo contrario, traen con ellos sus propios alimentos proveniente de sus hogares y los desperdicios generados por estos, son desechados en el campus, como por ejemplo, los residuos de carnes, cáscaras de frutas, semillas de frutas, entre otros, que no se generan en la universidad.

#### ***IV.1.2. Manejo, Utilización y Aprovechamiento de Residuos Orgánicos no Compostables***

Para realizar la evaluación de las condiciones de manejo, utilización y aprovechamiento de residuos orgánicos no compostables, se ejecutó la descripción de la situación actual en la Universidad Católica Andrés Bello.

##### ***IV.1.2.1. Manejo***

En general se producen desechos orgánicos e inorgánicos que se colocan sin discriminación en bolsas plásticas de los diversos contenedores que posee la universidad. Las bolsas, cajas y otros residuos se almacenan temporalmente en depósitos, y todos son llevados por el camión de la Universidad a un vertedero temporal, para esperar ser recogidos por un camión del aseo urbano retirándolos del campus.

El Aseo Urbano depende de la Alcaldía del Municipio Libertador. Para el mes de Mayo de 2009 esta compañía dejó de recolectar aproximadamente por un mes los desechos generados dentro del campus, ocasionando una

acumulación muy grande de los mismos, colapsando los depósitos y demás sitios para el almacenamiento temporal de estos.<sup>34</sup>

Cabe destacar que lo mencionado, es una descripción breve del proceso de manejo y recolección de residuos sólidos, tanto orgánicos como no orgánicos en de la UCAB. El proceso descrito anteriormente ocurre en cada uno de los edificios que comprenden el campus universitario. No existe un proceso de separación y clasificación durante el desarrollo del proceso de manejo, por tipo de desperdicio/desecho, es decir, no existe una segregación como tal de la basura existente, ya que no es separada, en residuos orgánicos e inorgánicos.

#### **IV.1.2.2. Utilización y Aprovechamiento**

En primera fase, al realizarse un proceso de evaluación de un diseño para el aprovechamiento de este tipo de residuos sólidos, cualquiera que este sea, se debe tomar en cuenta, el proceso de separación y clasificación de los residuos sólidos generados en de la UCAB.

En virtud que no existe actualmente en la universidad un plan implementado de utilización y aprovechamiento de residuos sólidos se recomienda la propuesta de diseño de un conjunto de Biodigestores, que den uso y utilidad a este tipo de residuos orgánicos.

Señer, (2005), establece que “los residuos/subproductos pueden dejar de ser considerados como un grave problema, (dinero, olores, espacio), para las empresas si se busca una forma de valorar sus potenciales”<sup>35</sup>. En base a esto, Señer (2005), presenta las siguientes formas de gestión de residuos sólidos, y métodos de valorización energética para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, los cuales se muestran en la **Ilustración 8** y la **Ilustración 9**, respectivamente.

---

<sup>34</sup> Hernández, Mairim. Uzcátegui, Juan P; (2010) *DISEÑO DE LAS BASES DE UN PLAN PARA EL MANEJO INTEGRADO DE RESIDUOS SÓLIDOS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO, CAMPUS CARACAS*. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela

<sup>35</sup> *Señer, Rodrigo (2005) OBTENCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN ANAEROBICA DE RESIDUOS ALIMENTARIOS*.



**Ilustración 8 .Gestión de Residuos Orgánicos**

**Fuente:** Señor, Rodrigo (2005). *Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaerobica de residuos Alimentarios.*



**Ilustración 9. Formas de Valorización Energética**

**Fuente:** Señor, Rodrigo (2005). *Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaerobica de residuos Alimentarios.*

### **IV.1.3. Requerimientos de Funcionamiento y Especificaciones de Diseño**

Para realizar la propuesta de diseño de un Biodigestor y en general para el diseño de cualquier otro tipo de producto equipo o servicio, se debe considerar una serie de requerimientos y especificaciones, que, servirán o serán útiles para moldear la propuesta final. Estos requerimientos y especificaciones son, en conjunto, los puntos de control que el diseño final debe ser capaz de cometer.

#### **IV.1.3.1. Requerimientos de Funcionamiento**

Entendiéndose por estos, como aquellos aspectos, que deben ser cumplidos por la propuesta de diseño, en otras palabras, luego de una evaluación, son las necesidades que deben ser cumplidas por el diseño para con el cliente, estos son:

- **Empleo de Material Orgánico Compostable y No Compostable:** Haciendo referencia este punto, al empleo de cualquier tipo de residuo orgánico sólido, que pueda someterse a un proceso de degradación anaerobica para su aprovechamiento.
- **Ninguna o Baja Emisión de Olores:** La emisión de olores, aunque es una variable que no puede ser medida, es de suma importancia, cuando se toma en cuenta en el diseño de un Biodigestor. Ya que el proceso involucra la degradación de materia orgánica, en sus componentes químicos más simples, puede llegar a producir la emisión de olores desagradables, como solución a esto, el diseño debe realizarse de tal manera que, se encuentre completamente hermético, esto no sólo por la emisión de olores, sino también se debe asegurar que el proceso se realice en total ausencia de oxígeno.
- **Costo de Mantenimiento:** Aspecto de gran importancia al realizar el diseño, que involucra, en forma general, la mano de obra, los materiales a emplear y el mantenimiento, por hacer mención a algunos. El equipo o reactor del Biodigestor debe ser accesible y de fácil mantenimiento, para reducir el costo del mismo. En cuanto al tipo de materiales que sean empleados para la construcción del Biodigestor, varía según el modelo que vaya a diseñarse, lo importante con respecto a esto, es que sean convencionales y de bajo costo.
- **Capacidad de manejo de volúmenes diarios de desperdicios de hasta 3 m<sup>3</sup>:** A continuación se muestra en la **Tabla 10**, el resumen del volumen de producción promedio diario de desperdicios que se producen dentro del campus universitario por período y por tipo de desperdicio.

**Tabla 10.** Volúmenes Diarios de Desperdicios (volúmenes en m<sup>3</sup>)(Año 2010)

Período	Desechos Cocina	Café Base Seca	Café Base Húmeda	Desechos de Jardín	Total Diario
Oct- Feb	0,94	0,03	0,02	1,01	2,00
Mar-Jul	1,07	0,04	0,02	1,26	2,39
Ago-Sep	0,39	0,01	0,003	1,35	1,75

**Fuente:** Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), *Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

Como se aprecia, la mayor producción de desperdicios ocurre en el período comprendido entre los meses de Marzo a Julio, donde la producción diaria es de 2,39 m<sup>3</sup> de desperdicios lo cual para conceptos

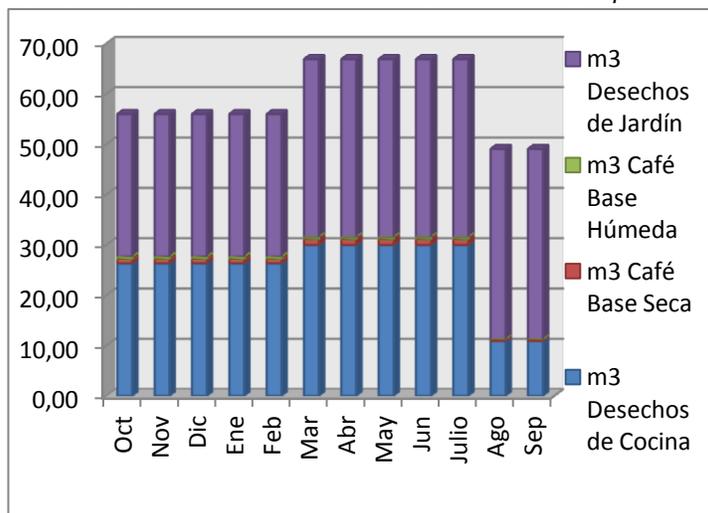
de diseño se aproximará a 3 m<sup>3</sup>. Por otra parte si se busca evaluar en forma mensual, se puede volver a apreciar este fenómeno, en los meses comprendidos dentro de este período, como se muestra en la **Tabla 11** y en el **Ilustración 10**.

**Tabla 11. Volúmenes Promedio Mensuales de Desperdicios (volúmenes en m<sup>3</sup>)**

Meses	m <sup>3</sup> Desechos de Cocina	m <sup>3</sup> Café Base Seca	m <sup>3</sup> Café Base Húmeda	m <sup>3</sup> Desechos de Jardín	Total
Oct	26,32	0,84	0,56	28,28	56,00
Nov	26,32	0,84	0,56	28,28	56,00
Dic	26,32	0,84	0,56	28,28	56,00
Ene	26,32	0,84	0,56	28,28	56,00
Feb	26,32	0,84	0,56	28,28	56,00
Mar	29,96	1,12	0,56	35,28	66,92
Abr	29,96	1,12	0,56	35,28	66,92
May	29,96	1,12	0,56	35,28	66,92
Jun	29,96	1,12	0,56	35,28	66,92
Julio	29,96	1,12	0,56	35,28	66,92
Ago	10,92	0,28	0,08	37,80	49,08
Sep	10,92	0,28	0,08	37,80	49,08

**Fuente:** Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), *Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*

**Ilustración 10. Volúmenes Promedio Mensuales de Desperdicios**



**Fuente:** Hernández M.; Uzcátegui J. (2010), *Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de residuos sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.*



Al ser este período, entre Marzo y Julio, el de mayor producción (período crítico), se tomó como referencia para establecer los volúmenes de procesamiento para el diseño.

Por otro lado, se debe acotar que el volumen de producción de desperdicios, no es un elemento aislado para el diseño, este debe ser considerado en conjunto con los requisitos ya mencionados, pero en especial con el período de retención dentro del Biodigestor, ya que el período de retención determinará en número de Biodigestores a instalar, para evitar la acumulación de desperdicios.

- **Requerimiento de espacio:** El terreno en el cual se planea realizar la construcción de la planta, posee un área de 1100m<sup>2</sup>, por tanto el área de la planta no podrá ser superior a esta superficie.

#### ***IV.1.3.2. Especificaciones de Diseño***

En esta parte se consideraron todos aquellos aspectos en los cuales el diseño debe cumplir con el proceso a generar, es decir, que el diseño no dificulte ni entorpezca el funcionamiento del mismo, y se encuentre en armonía con el objetivo para el cual se desarrolló, las especificaciones consideradas son las siguientes:

- **Período de Retención (30 a 40 días):** El período de retención es un parámetro de control, el cual determina el tiempo en el cual la mezcla debe permanecer retenida dentro del Biodigestor, con la finalidad que el proceso de descomposición anaeróbica del fluente presente en el mismo, sea degradado en su totalidad. El período de retención depende del tipo de Biodigestor que se decida diseñar y de la mezcla que sea suministrada a este.
- **Construcción con materiales convencionales:** Por lo general, este tipo de tecnología, sea cual sea el modelo que se proceda a instalar, se caracteriza por ser económica y rentable, de allí su amplia aplicabilidad en varias regiones agrícolas. Los materiales a aplicar para el diseño juegan un rol de suma importancia, por lo general, se utilizan materiales como hormigón, para la conformación de la estructura o ladrillos de barro, y se evita la utilización de algún tipo de metal en zonas que puedan llegar a tener contacto con el fluente, ya que pueden corroerse.

Otros modelos también pueden llegar a utilizar polímeros que sean resistentes e impermeables.

- **Complejidad del Diseño:** El Diseño debe ser suficientemente sencillo como para facilitar su construcción y mantenimiento.
- **Generación de Abono:** Fertilizante natural, se emplea para el enriquecimiento de suelos que se encuentran escasos de nutrientes, en aquellos suelos que sufren de agotamiento, y a los cuales se le es difícil mantener vida vegetal. Este producto puede someterse a diferentes procesos de enriquecimiento, procesos como por ejemplo la aplicación de Lombricultura.
- **Generación de Gas:** Durante el proceso de degradación anaeróbica de la materia orgánica, en sus últimas etapas, ocurre la generación de gas metano, Este valioso subproducto se puede emplear en cocinas, o como fuente de alimentación para plantas eléctricas.

Ya realizada la evaluación de la situación actual del manejo, utilización y aprovechamiento, se llevará a cabo la propuesta del diseño conceptual de un Biodigestor o de una serie de ellos que sean capaces de sacar provecho a los desperdicios compostables y no compostables generados en la universidad, y obtener un producto o una serie de productos que puedan ser aprovechables e incluso en un futuro comercializable.

Son dos los productos generados por el proceso de digestión anaeróbica, Biogás que se encuentra compuesto básicamente por gas metano y Biól o efluente, el cual se emplea para el enriquecimiento de terrenos para la siembra y en jardines como fertilizante o abono natural. En cuanto al biogás, este podría llegar a tener la desventaja de no representar una fuente rentable de generación de gas, en países donde su economía se basa principalmente en la explotación petrolera y de pozos en los cuales el gas metano se encuentra depositado, la única inversión en estos casos (explotación de gasíferos naturales) es la extracción del mismo, no tiene sentido proponer una alternativa de generación de gas que pueda llegar a ser más costosa en algunos casos, que la extracción en sí, esto obviamente hablando en sistemas macros o a nivel industrial. Para la generación de gas a pequeña escala, en zonas rurales o agrícolas, es una fuente de energía muy rentable, la cual en la actualidad es utilizada.



Por otra parte, el conjunto de los requerimientos y especificaciones, hacen la función de control al realizar el diseño, ejercen un peso importante ya que estos representan las necesidades del cliente y del proceso que el diseño debe ser capaz de asimilar, cumplir y amalgamar.

## **CAPÍTULO V: DISEÑO CONCEPTUAL**

El diseño conceptual comprende a todos aquellos aspectos ya estudiados e investigados, referentes al diseño del Biodigestor a implementar, la planificación de la secuencia de actividades a ejecutar para el proceso productivo, comprendiéndose dentro de este último aspecto, las actividades primarias y de apoyo, por último el diseño conceptual abarca el amalgamado de los requerimientos y especificaciones con lo mencionado anteriormente, a partir de esto, se generaron varias alternativas las cuales fueron evaluadas a través de la metodología de diseño de plantas.

### **V.1. Generación de Alternativas y Desarrollo de una Matriz de Diseño**

En base a la investigación documental y bibliográfica realizada, se apreciaron distintas alternativas de diseño a aplicar, que fuesen capaces de aprovechar los residuos orgánicos generados en el campus. Para la elección de la mejor alternativa se desarrolló una matriz de diseño, una vez realizada la lista de requerimientos y especificaciones con los cuales el Biodigestor debe trabajar bajo completa armonía, se procedió a realizar la recolección de opinión de expertos en el tema, a través de encuestas de opinión, para obtener la ponderación de cada uno de los aspectos antes vistos.

#### **V.1. 1. Formato de Encuesta**

Se realizó la consulta de opinión a través de encuestas, que ayudaron a determinar la categorización de los factores involucrados en el diseño y la generación de alternativas, la encuesta busca asignar una ponderación a cada uno de los requerimientos y especificaciones, para aplicar el Método de Puntos Ponderados o Matriz de Diseño.

El formato de la encuesta básicamente se encuentra conformado por el conjunto de especificaciones y requerimientos explicados en el capítulo anterior, con los cuales la propuesta de diseño se debe encontrar en capacidad de cumplir. La encuesta realizada se presenta a continuación en la **Tabla 12**.

“Para el diseño de un Biodigestor, se busca obtener la opinión con respecto a sus requerimientos y especificaciones, los cuales son presentados en el cuadro inferior. En base a su experiencia y conocimientos, evalúe cada uno de estos, marcando con una X, según el grado de importancia que usted considere, para cada uno. La escala de evaluación se encuentra comprendida del 1 al 10, siendo 1 el valor más bajo para la evaluación y 10 el valor más alto”.

Tabla 12. Encuesta a Expertos

Requerimientos y Especificaciones de Diseño	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Empleo de material orgánico compostable y no compostable										
2. Ninguna o Baja emisión de olores										
3. Costos de Mantenimiento										
4. Período de Retención (de 30 a 40 días)										
5. Construcción con materiales convencionales										
6. Generación de abono										
7. Generación de Gas										
8. Complejidad de Diseño										
9. Requerimiento de Almacenamiento de Materia Prima										

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados obtenidos de la opinión de los expertos encuestados, (un total de 15 encuestados), se procedió a otorgar las respectivas ponderaciones a cada uno de los requerimientos y especificaciones de diseño con la finalidad de aplicar el método de selección de factores ponderados. Los resultados (ponderaciones de cada factor) obtenidos de la opinión de los expertos se muestran en la **Ilustración 11**.

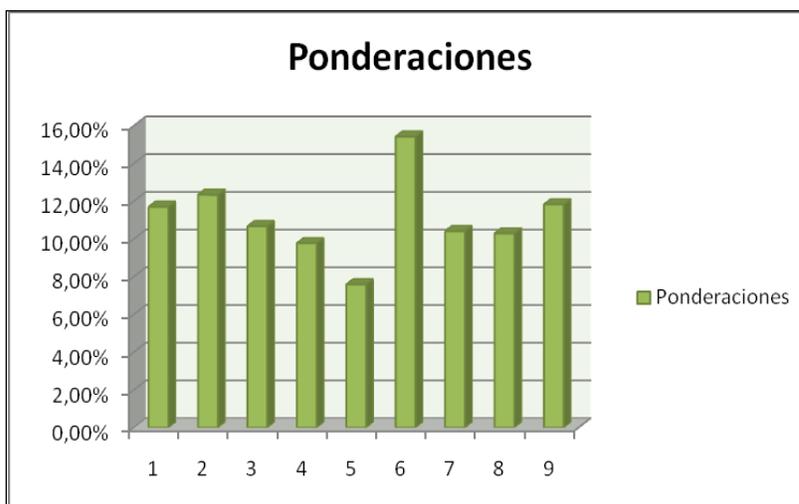


Ilustración 11. Ponderaciones

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación se realizó bajo una escala comprendida del 1 al 5, donde 1 se considera como la calificación más baja y 5 la más alta que se puede obtener, cumpliendo así el tercer paso del Método de Selección de Factores Ponderados, (**Véase ANEXO 3**). Ya obtenidos los respectivos puntajes por requerimiento, se continuó a realizar la totalización de estos, con la finalidad de

escoger aquel tipo de Biodigestor que obtenga, posterior a la totalización, el mayor puntaje.

Como se puede apreciar en la **Tabla 13**, el tipo de Biodigestor con mayor puntaje fue el **Biodigestor de Cúpula Fija o Tipo Chino**, según la opinión de expertos recolectada, este tipo de Biodigestor es aquél que mejor se ajusta a las especificaciones de diseño y él que, mejor se ajusta a los requerimientos del proceso que se planea diseñar.

**Tabla 13. Matriz de Diseño**

Requerimientos y Especificaciones de Diseño	Tecnologías Existentes			Ponderaciones
	Régimen Continuo	Régimen Semi-Continuo	Régimen Estacionario	
	Biodigestor de Cúpula Flotante / Biodigestor Tubular	Biodigestor de Cúpula Fija	Biodigestor OLADE-Guatemala	
Empleo de material orgánico compostable y no compostable	0,23	0,47	0,12	11,70%
Ninguna o Baja emisión de olores	0,62	0,62	0,49	12,34%
Costos de Mantenimiento	0,21	0,53	0,43	10,67%
Período de Retención (de 30 a 40 días)	0,20	0,49	0,10	9,77%
Construcción con materiales convencionales	0,08	0,38	0,30	7,58%
Generación de abono	0,15	0,62	0,77	15,42%
Generación de Gas	0,52	0,42	0,10	10,41%
Complejidad de Diseño	0,21	0,31	0,41	10,28%
Requerimiento de Almacenamiento de Materia Prima	0,12	0,35	0,59	11,83%
<b>Total</b>	<b>2,33</b>	<b>4,18</b>	<b>3,32</b>	<b>100%</b>

Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez elegido el Biodigestor a diseñar se procedió a realizar la propuesta de diseño del mismo.

## V.2. Propuesta de Diseño para un Biodigestor de Cúpula Fija.

Como se mencionó en el **CAPÍTULO II**, este tipo de Biodigestores de cúpula fija se utiliza ampliamente en las zonas rurales, y normalmente su construcción se realiza con materiales convencionales, como por ejemplo hormigón, ladrillos de barro, entre otros, los cuales son relativamente

económicos y de fácil adquisición. Este tipo de Biodigestor, favorece a la producción de Biól.

El Biodigestor de Cúpula Fija o tipo chino, en cuanto a su estructura física y diseño, se encuentra conformado principalmente por dos partes:

- **El Cuerpo**, donde se realiza el llenado de los desechos a fermentar, hecho normalmente de hormigón.
- **La Cúpula Fija**, donde es almacenado el gas que es producido durante el proceso de descomposición anaeróbica, la cual por lo general es construida de ladrillos de barro.

Durante la construcción de este tipo de Biodigestores también se emplean materiales como cemento, arena, piedra y acero constructivo, los cuales ayudan a asegurar una alta resistencia y durabilidad de la obra. Este tipo de Biodigestores no presentan partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas que se encuentren expuestas a corrosión, por último su vida útil se extiende a más de 20 años, este tipo de Biodigestores poseen ventajas tales como:

- Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento, lo que permite un mejor aprovechamiento del lodo y extiende los plazos de mantenimiento.
- Mejor aprovechamiento de la excavación.
- Mejor acceso al Biodigestor, tanto durante la obra como para futuros trabajos de revisión.
- Simplificación del método de construcción, la cual se extiende de 10 a 15 días.

Su desventaja principal radica, como ya se mencionó para este tipo de Biodigestores, en la necesidad de personal calificado para su construcción, y en una inspección periódica y monitoreo por parte de técnicos especializados.<sup>36</sup>

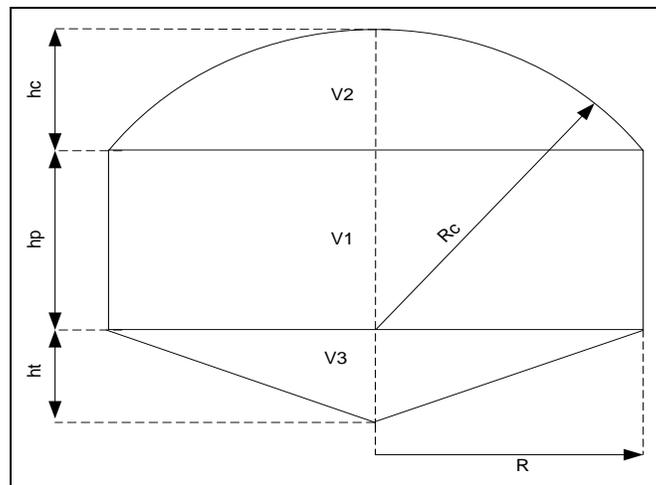
Para el diseño del Biodigestor de cúpula fija, se realizó su adecuado dimensionamiento, considerando los tres volúmenes característicos que conforman la totalidad del mismo, a partir del volumen total que debe ser capaz de manejar el Biodigestor. Se decidió a partir de las prácticas experimentales

---

<sup>36</sup> Guardado, J (2007) *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE BIOGÁS SENCILLAS*. La Habana, Cuba.

realizadas, que la mezcla, desechos-agua seguirá una proporción 1:3 (**Véase ANEXO 4**), en base a la producción diaria de desperdicios dentro del campus universitario (aproximadamente  $3 \text{ m}^3/\text{día}$ ), el volumen total del Biodigestor será de  $24\text{m}^3$ , suficiente para contener 2 días de desperdicios producidos dentro del campus universitario, en base a este volumen se determinarán las dimensiones del reactor.

Durante el cálculo de las dimensiones correspondientes, fue aplicada una nomenclatura para cada uno de los parámetros calculados en función del volumen total, esta nomenclatura se presenta a continuación en la **Ilustración 12**.



**Ilustración 12.** Esquema de Diseño Biodigestor Cúpula Fija

**Fuente:** Guardado, José (2007). *Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas*

hc: Altura de la Cúpula.      ht: Altura del cono base

hp: Altura de la Pared

R: Radio Básico.

Rc: Radio de la Cúpula.

En base al volumen total se realiza el cálculo del Radio Básico con la **Ecuación 1**, como se muestra a continuación:

$$R = \sqrt[3]{V_{total} / \pi \cdot 1,121}$$

**Ecuación 1** .Radio Básico

$$R = \sqrt[3]{\frac{24m^3}{\pi \cdot 1,121}} = 1,90m$$

**Ecuación 2.** Radio Básico

A partir del Radio básico se determinó la unidad proporcional U de la cual se realizaron el resto de los dimensionamientos de la estructura, esta unidad de medida equivale a la cuarta parte del Radio Base.

$$U = \frac{R}{4} = \frac{1,90m}{4} = 0,48m$$

**Ecuación 3.** Unidad Proporcional U

Haciendo uso de la Unidad Proporcional U ya se mencionada, se determinó el resto de las dimensiones, estas se presentan en la **Tabla 14** a continuación:

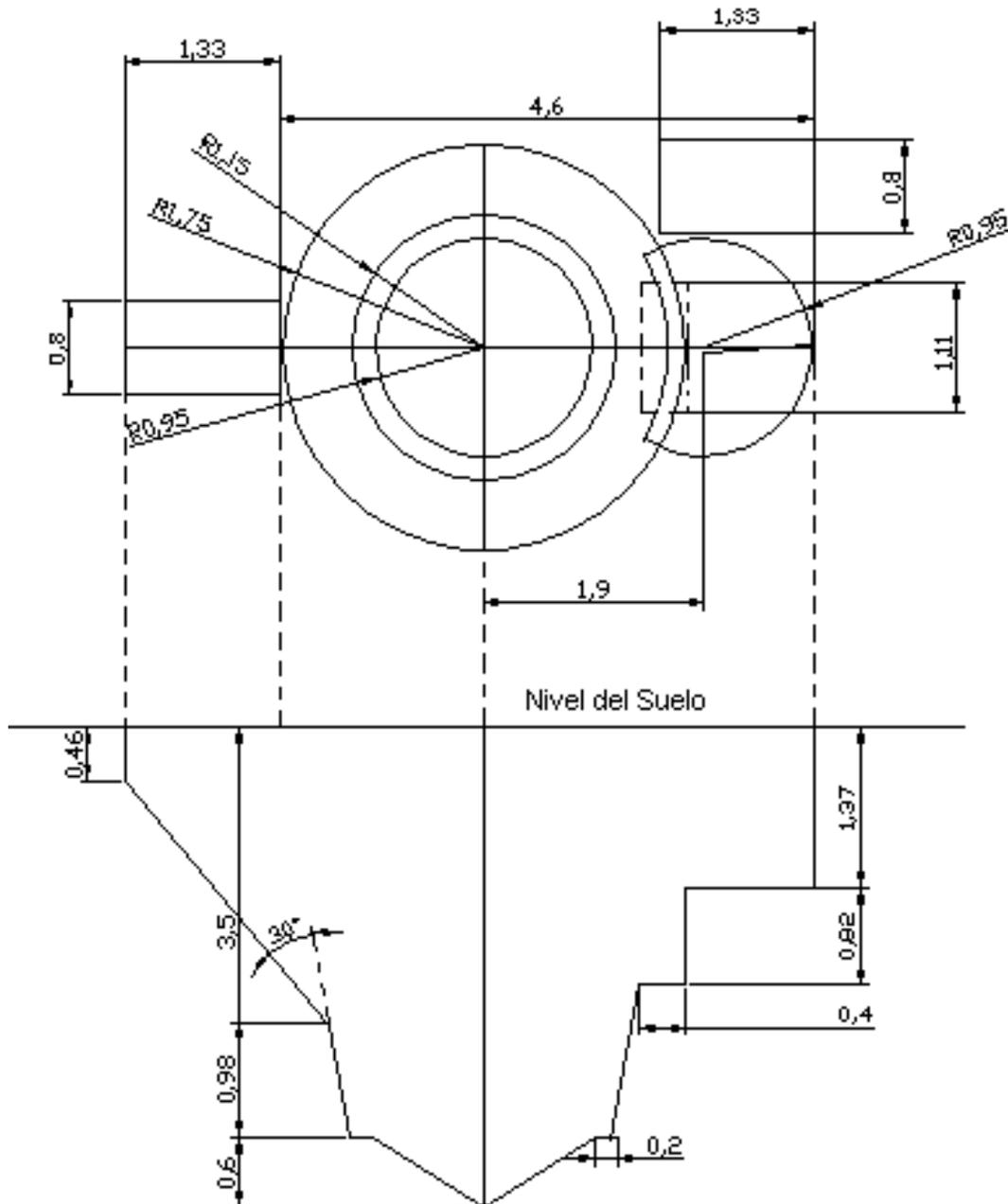
**Tabla 14.** Dimensiones Biodigestor

R (m)	U (m)	Rc (m)	D (m)	hc (m)	hp (m)	ht (m)
1,90	0,48	2,38	3,80	0,95	1,43	0,57

**Fuente.** Elaboración Propia

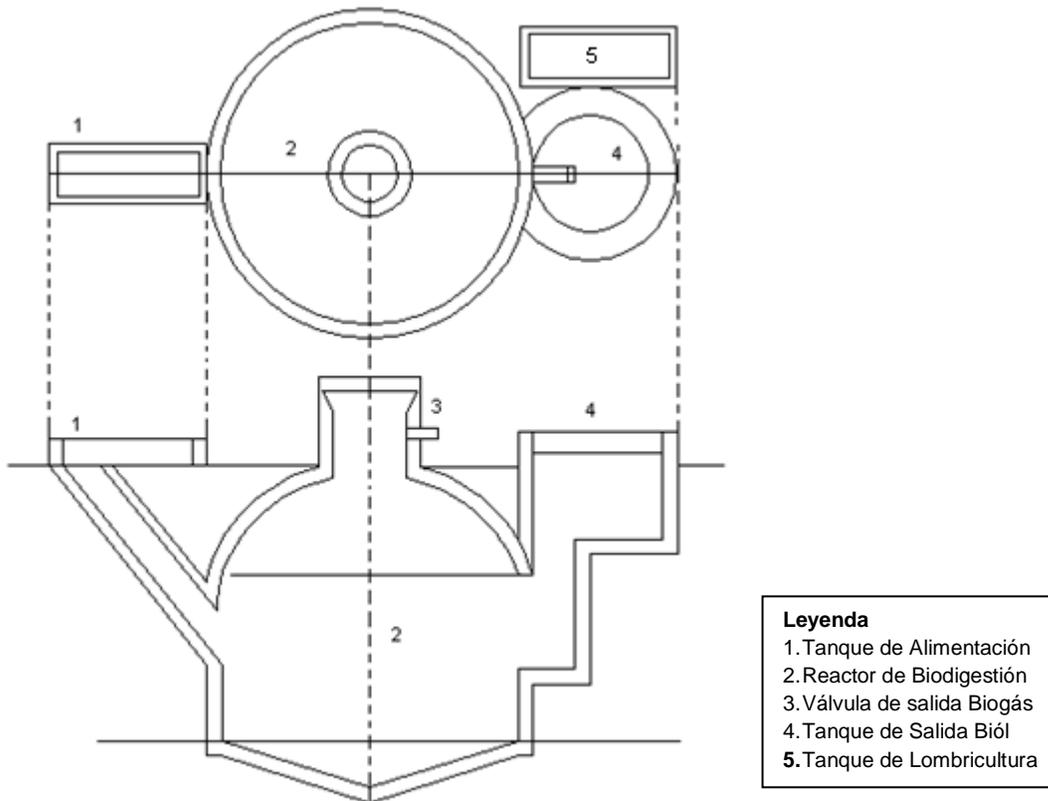
A partir de estas dimensiones, se realizó la evaluación de la excavación, considerando que este tipo de Biodigestores se encuentran completamente enterrados, es por ello que fue fundamental tomar en cuentas las dimensiones de la excavación, a continuación en la **Ilustración 13**, se presentan las dimensiones para un Biodigestor de  $24m^3$ .

Los cálculos de todas las dimensiones que son mostradas en la **Tabla 14** se presentan en la sección de Anexos (**Véase ANEXO 5**)



**Ilustración 13.** Dimensiones para Excavación de Biodigestor de Cúpula Fija de  $24m^3$  (Todas las dimensiones de la excavación se encuentran en metros)

**Fuente.** Guardado, José (2007). *Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas*



**Ilustración 14. Biodigestor de Cúpula Fija de 24m<sup>3</sup>**

**Fuente.** Guardado, José (2007). *Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas.*

Una vez dimensionado el Biodigestor de cúpula fija, se procedió a realizar la planificación y diseño de la secuencia lógica de actividades que serán desarrolladas en el proceso productivo de biodigestión.

### **V.3. Propuesta de Diseño para una planta de Biodigestión.**

A partir del diseño de un Biodigestor de Cúpula Fija, se realizó la configuración del conjunto de actividades lógicas y procesos secuenciados para llevar a cabo el diseño de una planta de biodigestión, que sea capaz de contener aproximadamente 14 unidades de reactores. El número de Biodigestores fue determinado a partir de los requerimientos de espacio de cada uno, período de retención y el volumen diario a manejar por cada uno.

#### **V.3.1. Diseño y Distribución de la Planta**

Antes de realizar el diseño de la planta y de la distribución de las áreas que en esta se encontrarán, en primera instancia se consideró el objetivo y la ubicación de esta. Se estableció como objetivo, la generación en masa y el aprovechamiento comercial de material orgánico, producto de un proceso de

biodigestión o degradación anaeróbica, el cual pueda emplearse como material fertilizante o abono, en sembradíos, jardinerías, entre otros, ya que la planta de biodigestión trabajará con los desechos producidos en el campus, y se planteó colocarla en las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello.

Como se menciona en el Trabajo Especial de Grado, Diseño Conceptual de una Planta Piloto de Compostaje, el terreno disponible dentro del campus para la construcción de la planta de compostaje es el espacio ubicado al lado del almacén del archivo general de la universidad. Este terreno cuenta con un área aproximada de 1100m<sup>2</sup>.

A continuación la **Ilustración 15** muestra una imagen satelital del terreno y su ubicación dentro del campus.<sup>37</sup>



**Ilustración 15.** Vista satelital del terreno de la planta.  
Fuente: Google Earth.

Establecidos la ubicación y objetivo de la planta, se planteó el proceso productivo, como todo proceso a nivel industrial, El cual se encuentra conformado por un conjunto de actividades clasificadas como primarias y de apoyo, es en función de estas actividades que el proceso es desarrollado y dirigido. La relación, intercambio de información y flujo de material de manera eficiente, de este conjunto de actividades primarias y de apoyo, es fundamental para que el proceso de generación de Biól se lleve de manera exitosa, es a partir de ello, que fue realizado el diseño de las áreas donde se llevaría a cabo este conjunto de actividades, de manera tal, que no existiera ningún tipo de atrofio o dificultad en el flujo continuo de materia e información entre estas, para ello se aplicaron herramientas básicas del Diseño de Plantas para realizar la organización y distribución de las áreas dentro de la planta.

<sup>37</sup> González Irena. Díaz Ricardo, (2010) DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PILOTO DE COMPOSTAJE. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

### V.3.1.1. Actividades Primarias y de Apoyo

La interacción de las actividades primarias y de apoyo, como se mencionó, llevan en si la dirección y el ritmo de la planta, es por ello que es necesario mencionar y explicar cada una de estas.

Las actividades primarias comprendidas dentro del proceso de generación de Biól se presentan a continuación en las **Tablas 15 y 16**:

Tabla 15. Diagrama de Proceso de la planta de Biodigestión

Paso	Nombre de la Actividad	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenamiento	
Actividades de Apoyo	1	Recepción Materia Prima	●	→	□	D	▽
	2	Transporte Materia Prima a área de Almacenado	○	→	□	D	▽
	3	Almacenado de Materia Prima	○	→	□	D	▽
	4	Transporte de materia prima a área de producción	○	→	□	D	▽
	5	Trituración de Materia Prima	●	→	□	D	▽
	6	Mezclado Materia prima triturada con agua	●	→	□	D	▽
Actividades Primarias	7	Llenado de Biodigestor	●	→	□	D	▽
	8	Biodigestión	●	→	□	D	▽
	9	Lombricultura	●	→	□	D	▽
	10	Descarga del Tanque de Lombricultura	●	→	□	D	▽
Actividades de apoyo	11	Transporte de Producto Terminado a Área de Empaquetado	○	→	□	D	▽
	12	Empaquetado	●	→	□	D	▽
	13	Transporte de Producto Terminado a almacén	○	→	□	D	▽
	14	Almacenado de Producto Terminado	○	→	□	D	▽

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 16. Proceso de la Planta de Biodigestión

Paso	Actividad	Descripción	Equipo Requerido
1	Recepción Materia Prima	Se realiza la recepción de los desechos orgánicos no compostables en bolsas de basura, posterior a esto se pesa cada bolsa	Balanza Digital
2	Transporte de Materia Prima a área de almacenado	Ya pesada cada bolsa estas se transportan al área de almacenado	Equipo de Transporte

Fuente. Elaboración Propia

**Tabla 16. Proceso de la Planta de Biodigestión (Continuación)**

Paso	Actividad	Descripción	Equipo Requerido
3	Almacenado de Materia Prima	Se almacena la materia prima en el área determinada para ello	
4	Transporte de materia Prima a área de producción	Con la ayuda del equipo adecuado, se realiza el transporte de los desperdicios al área de producción.	Equipo de Transporte
5	Trituración Materia Prima	Como parte de la preparación para el proceso, la materia prima debe ser triturada	Trituradora tipo Martillo o de Impacto/Mini Container con ruedas
6	Mezclado de Materia Prima con Agua	Ya con la materia prima triturada esta pasa a ser mezclada con agua en una proporción 1 a 3	Mezcladora, pala, Mini Container
7	Llenado de Biodigestor	De la mezcladora se realiza el vertido al Biodigestor, con ayuda de la pala	Biodigestor, Pala.
8	Biodigestión	Ocurre el proceso de descomposición anaerobica durante 30 días	Biodigestor
9	Lombricultura	El proceso de Biodigestión finaliza a los 35 días de iniciado, posterior a este, se hace la extracción del Biól contenido en el tanque de compensación, este se mezcla con materia seca triturada, y se deposita en el tanque de Lombricultura. Esta operación tiene una duración aproximada de 2 semanas	Mezcladora, Lombrices californianas, tanque de Lombricultura
10	Descarga del tanque de Lombricultura	Finalizado el proceso de Lombricultura, se extrae únicamente el Biól procesado	Pala, Equipo de transporte
11	Transporte de Biól a área de empaquetado	Se transporta el Biól al área de empaquetado	Equipo de transporte, pala
12	Empaquetado	Se coloca saco de 24 Kg, en la boquilla de la tolva para su llenado, los cuales son colocados en paletas, en grupos de 5 sacos por paleta	Pala, Tolva de empaquetado, Balanza Digital, Máquina de sellado, paletas
13	Transporte Producto Terminado a almacén	Se realiza el transporte de las paletas, con montacargas	Apilador
14	Almacenado de Producto terminado	El montacargas realiza la colocación de las paletas dentro de almacén de producto terminado, el cual tiene capacidad para almacenar 30 días de producción	Apilador

Fuente. *Elaboración Propia*

A partir de las actividades descritas, surgen las siguientes áreas para el desarrollo del proceso de Biodigestión:

- Área de Recepción de Materia Prima
- Área de Almacenaje de Materia Prima
- Área de Producción
- Área de Empaquetado
- Área de Almacenamiento de Producto Terminado
- Área de Despacho de Producto Terminado
- Patio de Maniobra
- Cuarto de Bombas
- Área de Lavado
- Cuarto Eléctrico
- Baños
- Vestidores
- Oficinas y Sala de Reuniones

Los requerimientos de espacio para cada una de las áreas fueron determinados a partir de la distribución, tipo de equipos y maquinaria que en estas se encontrarán (**Véase ANEXO 6**), a continuación en la **Tabla 17** son presentados los requerimientos de espacio de cada área:

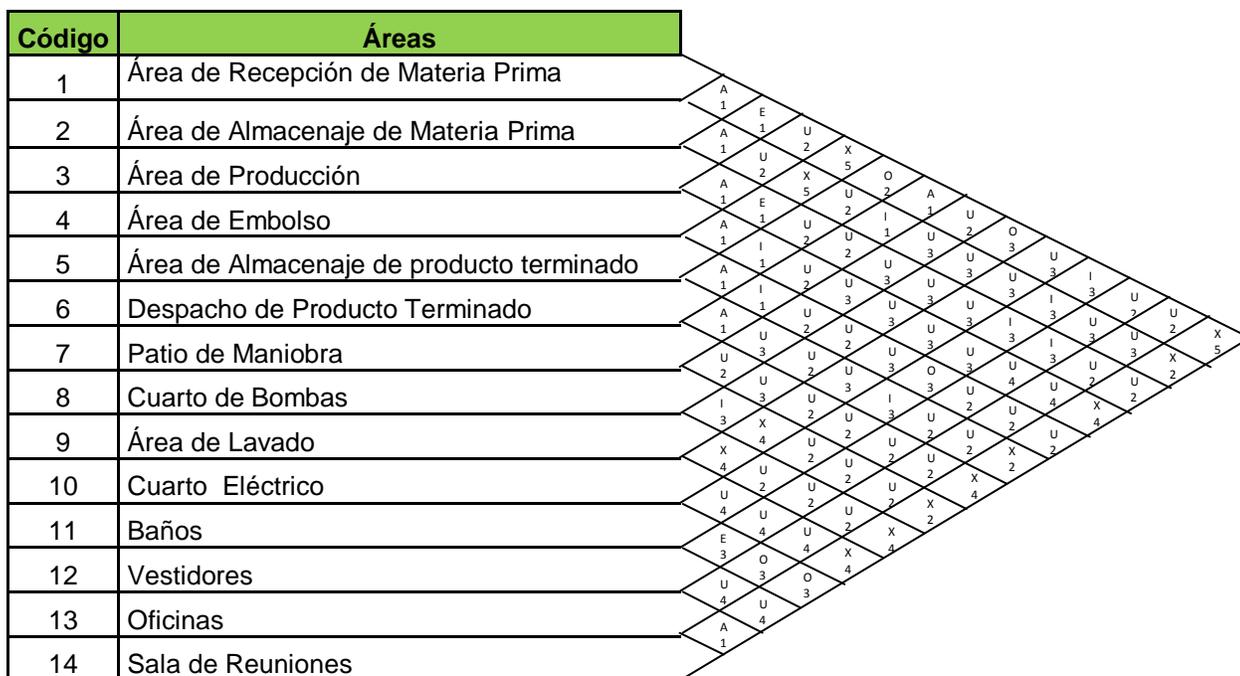
**Tabla 17.** *Requerimientos de espacio por área*

Código	Áreas	Espacio Requerido (m <sup>2</sup> )
1	Área de Recepción de Materia Prima	20
2	Área de Almacenaje de Materia Prima	117
3	Área de Producción	644
4	Área de Embolso	54
5	Área de Almacenaje de producto terminado	60
6	Área Despacho de Producto Terminado	20
7	Patio de Maniobra	75
8	Cuarto de Bombas	21
9	Área de Lavado	10
10	Cuarto Eléctrico	10
11	Baños	5
12	Vestidores	10
13	Oficinas	10
14	Sala de Reunión	5

**Fuente:** Panyella, Mónica A, (2010), *DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN DESTINADA AL MANEJO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA UCAB, CAMPUS CARACAS* Informe de Pasantías. Universidad Católica Andrés Bellos. Caracas, Venezuela.

Con los requerimientos de espacio de cada área, se determinó el requerimiento de espacio de la planta en su totalidad, dando como resultado un requerimiento de espacio de 1061 m<sup>2</sup>, cumpliendo así con la limitante que esta no puede superar los 1100 m<sup>2</sup>.

La relación existen entre las áreas mencionadas anteriormente se muestra en la **Ilustración 16**, a continuación:



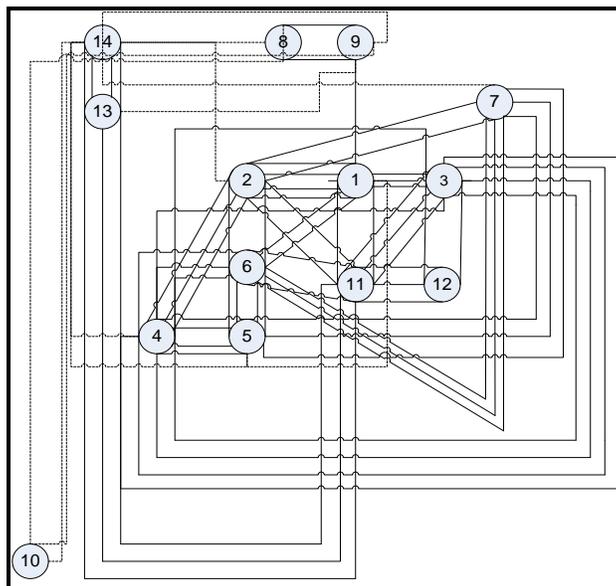
Código	Definición
A	Absolutamente necesario que las áreas estén juntas
E	Especialmente Importante
I	Importante
O	Ordinariamente Importante
U	Sin Importancia
X	No Deseable

Código de Razón	Razón
1	Alto Flujo de Material
2	Bajo Flujo de Material
3	Alta utilización de recursos
4	Baja utilización de recursos
5	Alto riesgo de contaminación
6	Bajo riesgo de contaminación

Ilustración 16. Diagrama de Doble Entrada

Fuente: Elaboración Propia

La información contenida en el diagrama de doble entrada fue obtenida a través de la consulta a expertos en la distribución y diseño de plantas. A partir de este diagrama, surge el conocido diagrama de relaciones de actividades o de nodos, el cual plantea la posible distribución de las áreas y su proximidad. Este se presenta en la **Ilustración 17** a continuación:



**Ilustración 17.** Diagrama de Nodos  
Fuente: Elaboración Propia

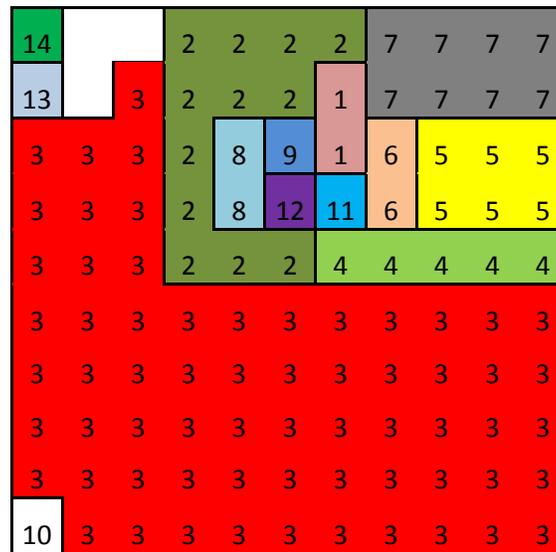
A continuación en la **Tabla 18**, se presenta la codificación por área y el número de grillas que cada una ocupa. El número de grillas por área se obtuvo a partir de los requerimientos de espacio de cada una de estas

**Tabla 18.** Codificación por Área

Área	Código	Espacio Requerido (m <sup>2</sup> )	Nº de Grillas
Recepción Materia Prima	1	20	2
Almacén Materia Prima	2	117	12
Producción	3	644	64
Empaquetado	4	54	5
Almacén de Producto Terminado	5	60	6
Despacho de Materia Prima	6	20	2
Patio de Maniobra	7	75	8
Cuarto de Bombas	8	21	2
Cuarto de Lavado/Herramientas	9	10	1
Cuarto Eléctrico	10	10	1
Baños	11	5	1
Vestidores	12	10	1
Oficinas	13	10	1
Sala de Reuniones	14	5	1
Total		1061	107

Fuente: Elaboración Propia

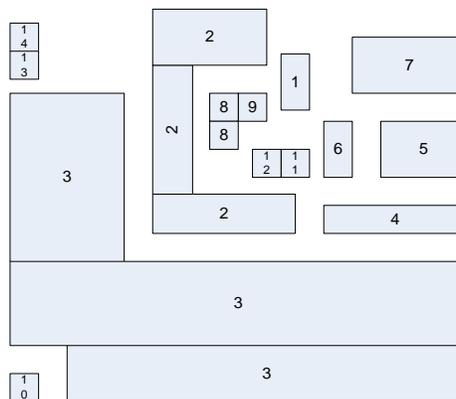
Con las relaciones establecidas entre cada área se generaron dos opciones para la distribución de la planta, se evaluó en cada caso la eficacia de la distribución y se tomó aquella cuya distribución en el diagrama de grilla no produjera tantas irregularidades en cuanto a la partición de las áreas (**Véase ANEXO 7**), como se presenta a continuación en la **Ilustración 18**



**Ilustración 18.** Diagrama de Grilla (Opción 2)

Fuente: *Elaboración Propia*

A partir de este diagrama se generó la distribución general de la planta, la cual se presenta en la **Ilustración 19** a continuación:



**Ilustración 19.** Distribución General de la Planta

Fuente: *Elaboración Propia*

De la distribución general de las áreas se genera el plano o "Layout" de la planta en cual se presenta en la sección de anexos (**Véase ANEXO 9**)

### **V.3.1.2. Diseño del Flujo y Manejo de Materiales**

Para el diseño del flujo y manejo de materiales dentro de la planta, fue necesario en primer lugar, evaluar las condiciones y el estado del material a transportar, como llega la materia prima, y como sale el producto terminado, esto definió directamente el sistema y equipos de transporte que se consideraron para el manejo de los materiales en la planta.

#### **V.3.1.2.1. Transporte de la materia prima**

La materia prima que llega a la planta son los desechos generados dentro del campus universitario, únicamente de origen orgánico, como lo son los desechos de cocina y los desechos de jardín o materia seca, los cuales comprenderán la materia prima del proceso. Estos llegan a la planta en bolsas negras con capacidad de contener hasta 40 Kg de desperdicios.

El transporte de la materia prima se explica a continuación en la **Tabla 19**, con cada uno de los equipos de transporte requeridos y las especificaciones de cada uno de estos.

**Tabla 19.** *Transporte de la Materia Prima*

<b>Equipo de Transporte</b>	<b>Especificaciones del Equipo</b>	<b>Procedimiento</b>
Carretilla de Carga 	Material: Acero Carga Máxima: 400 Kg Dimensiones: 110 x 60 x 47 cm	El proceso comienza con la llegada de la materia prima a la planta, las bolsas son transportadas al área de recepción en carretilla, donde serán pesadas y transportadas al área de almacén de materia prima.
Apilador 	Carga Máxima: 1000 Kg. Altura Máxima de Horquilla: 900mm Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Largo: 1825 mm.</li> <li>• Ancho: 850 mm.</li> <li>• Radio de Giro: 1460mm</li> </ul>	Ya pesadas las bolsas en el área de recepción, estas se colocan en paletas de dimensiones 1x1.2 y son transportadas al almacén de materia prima.

**Fuente:** *Elaboración Propia*

**Tabla 19. Transporte de la Materia Prima (continuación)**

Equipo de Transporte	Especificaciones del Equipo	Procedimiento
Carretilla de Carga 	Material: Acero Carga Máxima: 400 Kg Dimensiones: 110 x 60 x 47 cm	El transporte de la materia prima al área de producción se realiza en carretillas, a cada estación de trabajo para ser triturada.
Mini Container Con Ruedas 	Material: Polietileno Carga Máxima: 700 L Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura: 1200mm</li> <li>• Largo: 800 mm</li> <li>• Ancho: 600 mm</li> </ul>	Posterior a la trituración de la materia prima, esta es contenida para ser sometida al proceso de mezclado hasta la mezcladora.

Fuente: *Elaboración Propia*

### V.3.1.2.2. Transporte de Producto Terminado

Una vez finalizado el proceso de Biodigestión y Lombricultura, el producto terminado a transportar tiene una consistencia semejante a la arena con respecto a la granulometría y de igual forma muy compacta, el transporte y empaquetado del producto terminado se presentan a continuación en la **Tabla 20**:

**Tabla 20. Transporte de Producto Terminado**

Equipo de Transporte	Especificaciones del Equipo	Procedimiento
Mini Container Con Ruedas 	Material: Polietileno Carga Máxima: 700 L • Altura: 1200mm • Largo: 1000 mm • Ancho: 800 mm	Se realiza la extracción del tanque de Lombricultura del Biól procesado el cual se transporta al área de empaquetado.
Apilador 	Carga Máxima: 1000 Kg. Altura Máxima de Horquilla: 1150mm Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Largo: 1825 mm.</li> <li>• Ancho: 850 mm.</li> <li>• Radio de Giro: 1460 mm</li> </ul>	Posterior al proceso de embolsado, cada saco de 24 Kg, es colocado en una paleta en grupos de 5 sacos por paleta. La paleta es transportada hasta el almacén de producto terminado.

Fuente: *Elaboración Propia*

### V.3.1.2.3. Descripción del Sistema de Empaquetado

El proceso de empaquetado será dividido en dos subprocesos, los cuales son explicados a continuación:

- **Llenado de la Tolva:** El llenado de la tolva se realizará utilizando un tornillo sin fin.
- **Sistema de empaquetado:** Para el sistema de empaquetado será empleada una tolva la cual tendrá las siguientes dimensiones, 2,5 metros de altura, la sección cuadrada es de 1,5 metros de ancho x 1,5 metros de largo; luego de la sección cuadrada se propone que la parte inferior del depósito sea de 15 cm de ancho por 15 cm de largo lo cual permitiría que la inclinación de las laminas sea de  $30^{\circ}$ <sup>38</sup> esta será la boquilla de salida. Cada saco se colocará debajo de la boquilla para ser llenado, se recomienda el uso de una balanza digital al momento del llenado de cada saco de 24 Kg de capacidad. la cual sería colocada debajo de la boquilla de la tolva. La **Ilustración 20** muestra un ejemplo de este tipo de sistema.



Ilustración 20. Tolva de Llenado

Fuente: Direct Industry (2011). Recuperado Agosto 2011 de <http://www.directindustry.es/prod/manergo/tolvas-de-llenado-de-sacos-7839-365853.html>

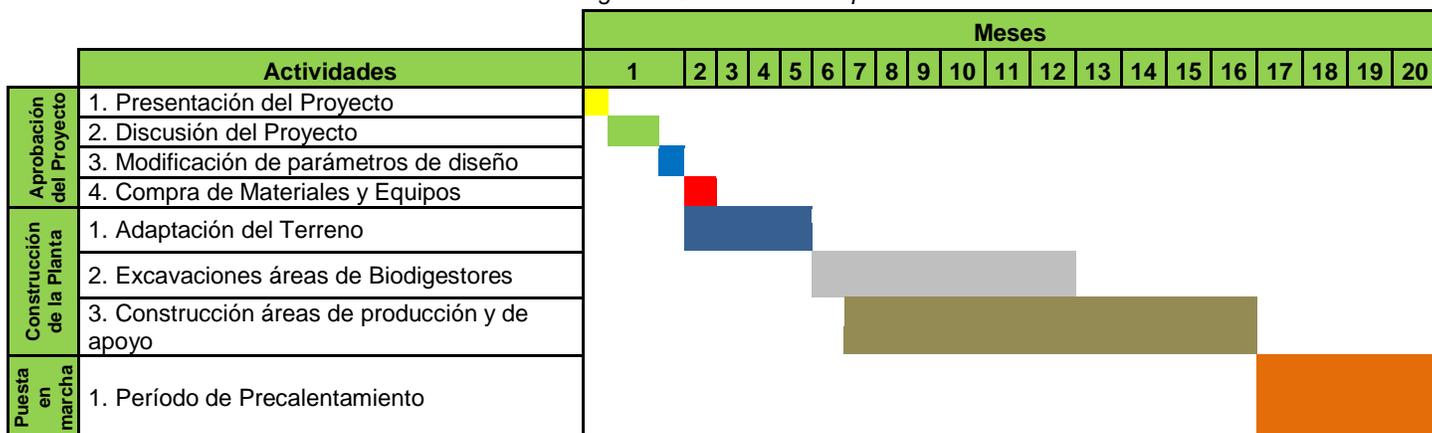
### V.3.1.3. Plan de Implementación

Para la estructuración de un plan de implementación, fue planificado como el proyecto podría llevarse a cabo. Fueron estipuladas las etapas

<sup>38</sup> González Irena. Díaz Ricardo, (2010) DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PILOTO DE COMPOSTAJE. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

(básicamente tres), para la conformación de la planta de Biodigestión, cada uno con su respectivo período estipulado de duración. A continuación en la **Tabla 21**, se presenta el diagrama Gantt de la estructuración del plan de implementación.

Tabla 21. Diagrama Gantt Plan de Implementación



Fuente: Elaboración Propia

Cada una de las actividades planteadas en la **Tabla 21**, comprenden lo siguiente:

**Aprobación del proyecto:** Este punto comprende los siguientes aspectos:

- **La presentación del proyecto a las autoridades respectivas**, en el cual se desarrollará la idea y concepto del diseño, se estima una duración de alrededor de una (1) semana, para concluir con todas las presentaciones del proyecto.
- **La discusión y evaluación del proyecto**, es un aspecto que involucra a las autoridades, las cuales darán la decisión de aprobación o no de éste, se estima una duración de dos (2) semanas.
- **La modificación de parámetros de diseño**, viene dada a partir del supuesto de la aprobación del proyecto, ya que puede ser necesaria la modificación de ciertos parámetros evaluados en la etapa anterior, se estima la duración de esta actividad de una (1) semana.
- Finalmente, **la compra de materiales y equipos**, lo cual al igual que la etapa anterior depende de la aprobación del proyecto y del ajuste de los



parámetros de diseño, se estima para esta actividad la duración de un (1) mes.

**Construcción de la Planta:** La construcción de la planta comprende todos los implementos relacionados con:

- **La Adaptación del terreno**, el terreno donde se planea realizar la construcción de la planta de biodigestión, debe ser adecuadamente adaptado, y limpiado. Se estima que esta actividad tomará un período de tiempo aproximado de cuatro (4) meses.
- **Excavaciones áreas de Biodigestores**, este aspecto involucra, las excavaciones a realizar para la colocación de 14 Biodigestores, se estima un período de duración de esta actividad de siete (7) meses.
- **Construcción de áreas de producción y de apoyo**, en esta actividad se desarrolla la construcción de los alrededores del área de producción, como lo son los almacenes de materia prima y producto terminado y las áreas de preparación y empaquetado. También se desarrollan de las áreas de apoyo como lo son oficinas, baños, vestidores, cuarto eléctrico entre otros. Se estima una duración para esta actividad de diez (10) meses

**Puesta en Marcha:**

- **El Período de Pre calentamiento**, comprende el inicio de las actividades de producción, con la finalidad de fijar parámetros de control y determinar el comportamiento de la planta. Se estima una duración de cuatro (4) meses.

Como se pudo apreciar durante el desarrollo del capítulo, el diseño de un equipo no sólo involucra el dimensionamiento de este, y evaluación de las distintas tecnologías existentes, es un proceso macro, que involucra materiales, producción, distribución, entre otros aspectos relevantes que tienen que ser contemplados al realizar una propuesta de diseño.

Al existir distintas alternativas de diseño, fue necesario aplicar una herramienta capaz de discriminar la mejor alternativa, considerando las

especificaciones y requerimientos del proceso, y del cliente respectivamente, para ello se aplicó el Método de selección de Factores Ponderados.

Con la propuesta de diseño definida claramente, lo siguiente fue la elaboración del diseño de la secuencia de pasos para la distribución de una planta, que se encuentre capacitada para contener un número definido de Biodigestores, y aprovechar el producto que dentro de estos reactores es generado.

Con esta etapa completamente desarrolla, se realizó la evaluación técnica y económica de la planta, para con esto determinar la posible implementación o no de la misma.

## CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

El proyecto de la planta de Biodigestión, fue evaluado tanto técnica como económicamente, con la finalidad de determinar la rentabilidad del mismo. En la evaluación técnica se estipularon todos los implementos y maquinarias necesarias para el desarrollo del proceso productivo. En la evaluación económica se estipularon los costos, gastos, e inversión en los cuales se debe incurrir para la instauración de la misma.

El proyecto fue evaluado económicamente por dos criterios, el criterio Beneficio-Costo y el Criterio del Valor Presente Neto, no se realizó el estudio de la Tasa Interna de Retorno, debido a que no se considera pedir ningún tipo de financiamiento externo, se pretende que el proyecto sea costeado en su totalidad con fondos propios de la universidad.

### VI.1. Evaluación Técnica

En esta sección se realizó un resumen de, la capacidad instalada y capacidad de producción de la planta, total de producción de Biól, metros cuadrados totales que ocupa la planta, entre otros aspectos técnicos considerados. La planta se encontrará en funcionamiento durante un período de 220 Días al año, se implementaran 2 turnos de trabajos de 4 horas cada uno.

A continuación en la **Tabla 22**, se presentan la información técnica de la planta

**Tabla 22.** Aspectos Técnicos de la Planta

<b>Capacidad Instalada</b>	14 Biodigestores
<b>Capacidad Operativa</b>	14 Biodigestores
<b>Capacidad de Procesamiento por Biodigestores</b>	24 m <sup>3</sup>
<b>Espacio Requerido de la Planta</b>	1061 m <sup>2</sup>
<b>Producción Total de Residuos Orgánicos en la Universidad al año</b>	120.214 Kg
<b>Procesamiento Residuos orgánicos al año de la planta</b>	103.280 Kg

Fuente: *Elaboración Propia*

**Tabla 22. Aspectos Técnicos de la Planta (Continuación)**

<b>Generación de Biogás</b>	0.0040%
<b>Pérdidas Biodigestor</b>	25%
<b>Porcentaje de Aprovechamiento de Residuos orgánicos producidos en la UCAB</b>	85,91 %
<b>Producción Anual de Biól</b>	88.900 sacos de 24 Kg c/u

Fuente: *Elaboración Propia*

En cuanto al personal que laborará en la planta se consideró un máximo de 2 personas, las cuales estarán encargadas del correcto y debido funcionamiento del proceso productivo.

Al observar los valores presentes en la **Tabla 22**, se puede extraer lo siguiente, un 85, 91% de los residuos sólidos orgánicos, conformado por desperdicios de cocina y desechos de jardín es empleado por la planta de Biodigestión, quedando un 14,09 % restante el cual no se puede aprovechar, esto implica que al año quedan 16.938,15 Kg de residuos orgánicos que no tienen ningún empleo, y por consiguiente pasarían a ser parte del proceso de recolección de residuos sólidos dentro de la universidad.

Actualmente el mantenimiento y limpieza del campus es responsabilidad de la dirección de servicios generales. La universidad cuenta con un camión para la recolección diaria de los desechos sólidos almacenados en los depósitos, que luego son llevados al vertedero temporal para ser recogido por el aseo urbano<sup>39</sup>. Si el camión únicamente recolectara desechos sólidos orgánicos, un solo día a la semana bastaría para efectuar la recolección de todos los desechos orgánicos generados en esta, en otras palabras, el camión únicamente tendría que realizar la recolección de este tipo de desechos una vez a la semana en vez de en forma diaria, ahorrándose 4 días de recolección de estos.

## **VI.2. Evaluación Económica**

Como se mencionó, el proyecto fue evaluado a través de dos criterios, el Criterio de Beneficio-Costo y el Criterio del Valor Presente neto.

<sup>39</sup> Hernández, Mata M. Uzcátegui B Juan P, (2010), *DISEÑO DE LAS BASES DE UN PLAN PARA EL MANEJO INTEGRADO DE RESIDUOS SÓLIDOS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO, CAMPUS CARACAS*. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela

Para la realización de los cálculos que son presentados en esta sección se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

- La tasa de incremento interanual de los costos, gastos e ingresos, es igual a la inflación promedio de los últimos 3 años, a partir del 2008 hasta el presente año, que actualmente se encuentra en 27,12%
- Se consideró un incremento interanual de los sueldos y salarios igual a la inflación. No se realizó la determinación de la tasa interna de retorno, ya que no se prevé la solicitud de ningún tipo de financiamiento.

#### ***VI.2.1. Precio de Venta***

Para la única presentación del producto a comercializar (saco de 24 Kg) se fijó un precio de venta de **12 BsF** el saco, el cual se obtuvo a partir de investigaciones de producto semejantes y su colocación en el mercado.

#### ***VI.2.2. Estructura del Flujo de Caja***

Para el análisis del proyecto de la planta de Biodigestión se presenta a continuación los aspectos correspondientes a la estructura del Flujo de Caja evaluados para un período de tres (3) años:

- **Costos Operativos:** Comprenden aquellos relacionados e involucrados con las actividades diarias a realizar dentro de la planta, como lo son el costo de los insumos necesarios, la mano de obra directa y la carga fabril.
- **Depreciación de los Activos:** La depreciación de los activos fijos se realizó por el método de la línea recta, lo cual implica que la depreciación se mantendrá constante por un período de 3 años con un valor en libros de los activos fijos de cero (0) para el último año.
- **Ingresos proyectados:** Se determinaron a partir de los volúmenes de producción año a año, multiplicado por el respectivo precio de venta del producto.
- **Inversión Inicial del Proyecto:** Se determinó a partir de los costos de las maquinarias y el costo de la construcción de la planta.
- **Capital de Trabajo:** Se determinó a partir del primer año, en base a los costos de mano de obra directa y carga fabril de los primeros 6 meses, el cual retorna al final del tercer año.

Se presenta a continuación en la **Tabla 23**, el flujo de caja del proyecto para un período de tres (3) años.

## CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

**Tabla 23. Flujo de Caja**

Año	0	1	2	3
<b>Flujo de Caja Operativo</b>				
Ingresos		1.356.116,16	1.723.894,86	2.191.415,15
Costos y Gastos		(464.160,01)	(590.040,20)	(750.059,10)
Depreciación		(794.309,16)	(794.309,16)	(794.309,16)
Ingreso Grabable		97.646,99	339.545,50	647.046,89
ISRL		(33.199,98)	(115.445,47)	(219.995,94)
Ingreso Neto		64.447,02	224.100,03	427.050,95
Depreciación		794.309,16	794.309,16	794.309,16
<b>Total Flujo de caja Operativo</b>		<b>858.756,18</b>	<b>1.018.409,19</b>	<b>1.221.360,11</b>
Año	0	1	2	3
<b>Flujo de Caja de Inversión</b>				
Inversión	(2.382.927,48)			
Capital de Trabajo	(182.566,52)	(49.512,04)	(62.939,71)	295.018,27
<b>Total Flujo de Caja de Inversión</b>	<b>(2.565.494,00)</b>	<b>(49.512,04)</b>	<b>(62.939,71)</b>	<b>295.018,27</b>
<b>Total Flujo de Caja</b>	<b>(2.565.494,00)</b>	<b>809.244,14</b>	<b>955.469,49</b>	<b>1.516.378,37</b>
VPN	(2.565.494,00)	606.311,63	536.351,50	637.759,01

Fuente: *Elaboración Propia*

**VPN (33,47%)= (785.071,86) BsF**

El criterio del Valor Presente Neto, establece que al dar esté como resultado un valor menor a cero o negativo la inversión o el proyecto no es rentable, a continuación en la **Tabla 24** se presenta el análisis Beneficio- Costo.

**Tabla 24. Análisis Beneficio –Costo**

Concepto	Año		
	1	2	3
Ingresos (Beneficios)	1.356.116,16	1.723.894,86	2.191.415,15
VPN Beneficios	1.016.045,67	967.706,05	921.666,24
Costos	(464.160,51)	(590.040,85)	(750.059,92)
VPN Costos	(347.763,93)	(331.218,63)	(315.460,49)

Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación en la **Tabla 25** se presentan los resultados del análisis a través del método de Beneficio – Costo

**Tabla 25. Resultados Análisis Beneficio –Costo**

<b>Total Beneficios</b>	2.905.417,96
<b>Total Costos e Inversión</b>	(3.559.937,05)
<b>B/C</b>	0,8161

Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar por ambas vías de evaluación, el proyecto no es rentable, el criterio del Valor Presente Neto (VPN), establece que si un proyecto o inversión presenta un VPN negativo este no es rentable, de igual manera el



## ***CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA***

---

criterio del Beneficio-Costo establece que para aceptar un proyecto este indicador debe ser mayor a la unidad, la no rentabilidad del proyecto se debe a los altos costos y gastos en los cuales se debe incurrir y los ingresos no son suficientes para cubrir este tipo de compromisos. El beneficio que aporta este tipo de proyectos es más ambiental que monetario, y es por ello que las instalaciones de este estilo no son implementadas a gran escala o a nivel industrial si no más bien a niveles locales y rurales, donde el beneficio que aportan es más elevado. Sin embargo, el proyecto puede ser reevaluado para que llegue a ser rentable.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VII.1. Conclusiones

Durante la elaboración del presente Trabajo Especial de Grado, cada uno de los Capítulos involucrados directamente con la elaboración de la propuesta de diseño del Biodigestor y de la planta piloto de biodigestión, como lo fueron el **Capítulo IV**, el **Capítulo V** y el **Capítulo VI**, aportaron conclusiones al cierre de cada uno, de las cuales se nutrirá éste capítulo, permitiendo realizar un conglomerado de cada uno de estos. Las conclusiones del Trabajo Especial de Grado fueron las siguientes:

- Para el desarrollo adecuado de cualquier plan de aprovechamiento de desechos sólidos tanto orgánicos como no orgánicos, es fundamental, en primera instancia que exista ya instaurado y consolidado un plan para el manejo, clasificación y separación de este tipo de desechos. Todo plan o diseño que proponga un aprovechamiento de los residuos sólidos dentro del campus de la universidad dependerá de la clasificación previa de los mismos.
- Actualmente no existe un sistema en la Universidad Católica Andrés Bello que se encargue del manejo, utilización y aprovechamiento de los residuos sólidos.
- Los residuos orgánicos (tanto compostables como no compostables), pueden ser empleados para los procesos de descomposición anaeróbica, (en ausencia de oxígeno) y extraer productos aprovechables tanto para el enriquecimiento de terrenos para la siembra y la explotación de fuentes de energía amigable con el medio ambiente. Actualmente dentro de la Universidad Católica Andrés Bello se producen **120.214 Kg** de desechos sólidos orgánicos, los cuales pueden ser aprovechables en un **85,91 %** de su totalidad a través de la Biodigestión en el campus, para la generación de abono o fertilizante natural.
- La producción de residuos sólidos orgánicos y materia seca (desechos de jardín), se encuentran alrededor de **3 m<sup>3</sup>** diarios en el período comprendido entre los meses de Marzo a Julio, para cada uno de los Biodigestores diseñados se tomó este volumen como parámetro de capacidad de manejo de desperdicios, teniendo cada uno una capacidad total de manejo de **6 m<sup>3</sup>**. La planta de Biodigestión se encuentra en capacidad de manejar un **85,91 %** de los desperdicios, conformado por

residuos orgánicos de cocina (incluyendo café y resto de carnes) y materia seca producidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello.

- A través de El Método de Puntos Ponderados (Matriz de Diseño) se eligió el Modelo de Biodigestor de Cúpula Fija, este método permitió la elección del mejor diseño a aplicar, para las necesidades presentes en la Universidad Católica Andrés Bello, en cuando al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.
- Durante el desarrollo del Método de Puntos Ponderados se generó un conjunto de alternativas de Biodigestores, capaces de aprovechar los residuos sólidos orgánicos generados dentro del campus. Se eligió el diseño de Biodigestor de Cúpula Fija adaptado a las necesidades del proceso planteado.
- La propuesta de la planta de Biodigestión no ofrece un margen de rentabilidad, presentando un Valor Presente Neto negativo de **785.071,86 BsF** y un indicador Beneficio-Costo de **0,8161**, mayormente los proyectos que poseen un positivo impacto a nivel ambiental, no poseen una remuneración económica lo suficientemente significativa, como para su instauración, esto se extrae a partir de los resultados obtenidos en el estudio económico al cual fue sometido el proyecto de la planta piloto de Biodigestión. La planta de Biodigestión diseñada posee la capacidad de procesamiento de **85,91 %** de los residuos orgánicos generados en la Universidad, lo cual equivale a **103.280 Kg** al año, esto se traduce en un total de **88.900 sacos** al año, trayendo consigo un beneficio el primer año de **1.356.116,16 BsF**. De los desperdicios sin aprovechar, el total se encuentra alrededor de **16.938,15 Kg** al año lo cual equivale al **14,09 %** del total de los residuos orgánicos generados en la Universidad Católica Andrés Bello anualmente.

## **VII.2. Recomendaciones**

- Se debe realizar una reevaluación económica del proyecto para su instauración, esto se sugiere producto del resultado del indicador Beneficio-Costo, el cual indica que al reducir ciertos costos y gastos puede llegar a ser un proyecto aceptable y por extensión que presente un rango de rentabilidad. Este proyecto presenta un gran impacto a nivel del manejo, utilización y aprovechamiento de los residuos sólidos en el campus de la Universidad Católica Andrés Bellos, así que es recomendable su instauración.

- Se debe estructurar de forma inmediata un plan de gestión, clasificación y separación de desechos sólidos si se pretende implementar un plan para el aprovechamiento de estos.
- Aunque el proyecto de la planta piloto dio como no rentable, podrían hacerse pruebas con un Biodigestor piloto, que pueda emplearse únicamente para la universidad, esto podría desarrollarse como un trabajo de pasantía el cual determine la rentabilidad de la instauración de uno solo de los reactores.
- Se recomienda la elaboración de un trabajo especial de grado donde se establezca la rentabilidad de la utilización del Biogás generado, si éste se podría emplear como fuente de generación de energía eléctrica dentro del campus.
- En el caso que se lleve a cabo el Trabajo Especial de Grado que plantee un aprovechamiento al Biogás generado, se recomienda la mejora y optimización, de ser necesario, del presente Trabajo Especial de Grado.
- Es necesario realizar la evaluación de este proyecto mediante la aplicación de indicadores que permitan determinar el beneficio a nivel social que una planta de biodigestión produciría dentro y fuera del campus universitario.
- La Gestión del cambio a nivel cultural es un aspecto de suma relevancia para este tipo de proyectos, por ello se recomienda empezar a implementar planes de concientización ambiental dentro del campus universitario con mayor fuerza, con la intención de propulsar una actitud ambientalista en cada uno de los que hacen vida dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, logrando con esto que la implementación de cualquier proyecto que plantee la utilización y aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la universidad sea más sencillo, ya que contaría con el apoyo y colaboración de la comunidad Ucabista.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. ***“El Proyecto de la Investigación, Introducción a la Metodología Científica”***. Editorial Episteme, 2006, quinta edición.
- Blanco, Faour J, et al., ***“Estudio Integral sobre recolección y disposición final de los residuos sólidos del Edo. Nueva Esparta”***. Ministerio del Ambiente y los Recursos Renovables. Caracas, Venezuela. 1979
- ***BOLETIN Nº 5. Instituto de Investigaciones Porcinas.*** Mayo 2007.
- Capuz, S, ***“Introducción al proyecto de Producción: Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto”***. Universidad Politécnica de Valencia, servicio de Publicaciones, 1999.
- Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada (CEMAT). 1977. ***“Planta de biogas a pequeña escala de la India”***. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Foundation. Guatemala, Guatemala.
- Colomer F, Gallardo A, ***“Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos”*** Limusa, 2009.
- ***DECRETO 2216: Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos (año 1992).***
- González Irena. Díaz Ricardo, 2010 ***“Diseño Conceptual de una Planta Piloto de Compostaje”***. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.
- Guardado C, José A. ***“Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas”***. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, 2007.
- Hernández Mata Mairim, Uzcátegui Baroni, Juan Pedro, 2010. ***“Diseño de las bases de un plan para el manejo integrado de Residuos Sólidos dentro de la Universidad Católica Andrés Bello, Campus Caracas”***. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial.
- Konz, Stephan, ***“Diseño de Instalaciones Industriales”***. Editorial Limusa, Noriega Editores, S.A. México D.F, 2001, octava edición.

- **LEY N° 5554:** *SOBRE SUSTANCIAS, MATERIALES Y DESECHOS PELIGROS (publicada en Gaceta Oficial N° 5554, extraordinaria de fecha 13 de Noviembre del 2001).*
- **Martí, N. (2006), "Precipitación de Fósforo en un Proceso de Digestión Anaeróbica (Phosphorus Precipitation in a Anaerobic Process)",**USA.
- **Martí, J. (2008). "Guía de Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares. Proagro".** Bolivia
- **Meyers Fred E, Sthephens Matthew P. "Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales".** Pearson Educación, 2006, tercera edición.
- **López, A (2008), " Valorización del Estiércol de Cerdo a través de la producción de Biogás".** Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de Policultura. Colombia.
- **Panyella, Mónica Alejandra, 2010, "Diseño Conceptual de una Instalación Destinada al Manejo y Recolección de Residuos sólidos generados en la UCAB, Campus Caracas".** Universidad Católica Andrés Bellos. Caracas, Venezuela. Informe de Pasantías.
- **Peralta, J; Varea L (2006), "DIGESTIÓN AEROBICA, Diseño de Procesos en Ingeniería Ambiental".**
- **Roverci Acosta, 2008. "Influencia de las Lombrices Rojas Californianas sobre las variables Fisicoquímicas de los suelos contaminados con Aceites Lubricantes".** Universidad Pedagógico Experimental. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Licenciado en Educación mención Biología y Química.
- **Rodríguez M, Córdova A. (2006). "Manual de compostaje Municipal. Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos".** Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.
- **Ramón, J. A; Romero, L. F., Simanca, J. L. "Diseño de un Biodigestor de canecas en serie para obtener Gas Metano Y Fertilizantes a partir de la Fermentación de Excrementos de Cerdo".**

- Sabino, Carlos. **“Como Elaborar una Tesis**. Editorial Panapo. Caracas.
- **Señer, Rodrigo (2005). “Obtención de Biogás a través de la fermentación Anaeróbica de residuos Alimentarios”**.
- **Solari, Giannina. (2004), “Proyecto de Construcción de un Sistema de Digestión Batch De 10 m<sup>3</sup> de Capacidad para la producción de Biogás utilizando los Residuos Vacunos del L Fundo Agropecuario de la Universidad Alas Peruanas”**. Perú.
- Sullivan W, Wicks L, Whoj E. **“Ingeniería Económica de Garmo”**. Pearson Education, 2004.
- Tamayo y Tamayo, Mario. **“El Proceso de la Investigación Científica”**. Limusa, Noriega Editores, 2007, cuarta edición.
- Tompkins James A, White Jon A, Bozer Yavuz A, Tanchoco JM, **“Planeación de las Instalaciones”**. Internacional Thomson Editores, 2006, tercera edición.
- Universidad Experimental Libertador (UPEL) (2003), **“Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales”** (3era edición), Caracas, Venezuela.
- Zorrilla, S (2007). **“Introducción a la Metodología de la Investigación”**.

#### Fuentes en Línea

- **BIODIGESTOR DE CÚPULA FIJA O TIPO CHINO**, (2004). Recuperado de Julio 2011 de <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>
- **CREATIVIDAD EN EL DISEÑO CONCEPTUAL DE INGENIERÍA DE PRODUCTO**.(2007). Recuperado el de Mayo de 2011, de <http://www.creatividadysociedad.com/articulos/10/Creatividad%20y%20Sociedad.%20Creatividad%20en%20el%20diseño%20conceptual%20de%20ingeniería%20de%20producto.pdf>
- **DESECHOS ORGÁNICOS URBANOS, ENERGÍA DEL FUTURO**.(2011).Recuperado Mayo 2011 de



<http://www.biomasaweb.com/2011/03/desechos-organicos-urbanos-energia-del-futuro/>

- Hurtado, J; (2008), **LA INVESTIGACIÓN PROYECTIVA**. Recuperado el **30 de Marzo del 2011** de <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/02/la-investigacion-proyectiva.html>
- **DESECHOS ORGÁNICOS URBANOS, ENERGÍA DEL FUTURO**.(2011).Recuperado Mayo 2011 de <http://www.biomasaweb.com/2011/03/desechos-organicos-urbanos-energia-del-futuro/>
- **TOLVA**, *Direct Industry* (2011). Recuperado Agosto 2011 de <http://www.directindustry.es/prod/manergo/tolvas-de-llenado-de-sacos-7839-365853.html>



# ANEXOS

## ANEXO 1: MODELOS DE BIODIGESTIÓN



**Ilustración 21.** *Biodigestor Familiar Tipo Tubular, Régimen Continuo*  
Fuente: *Martí, J. (2008). Guía de Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares.*



**Ilustración 22.** *Biodigestor Familiar Tipo Tubular, Régimen Continuo*  
Fuente: *Martí, J. (2008). Guía de Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares.*



**Ilustración 23.** *Biodigestor Industrial*  
Fuente: *Digestión Anaerobica en el ámbito de la agricultura, (2007). Recuperado Mayo 2011 de <http://www.telefonica.net/web2/obiogas/indecast.htm>*



## ANEXOS 2: MARCO JURÍDICO

La protección del ambiente y la utilización de los recursos que este provee ha sido durante las últimas décadas un tema de suma relevancia alrededor del mundo y para la mayoría de los gobiernos. Venezuela no ha sido la excepción en este ámbito, es por ello, y teniendo en mente la protección de las riquezas naturales existentes en el país, que ha desarrollado y promulgado a través de la Asamblea Nacional, leyes y normativas para el manejo adecuado de los desechos y desperdicios de origen urbano e industrial, con carácter de peligrosos y no peligrosos. Dentro de estas se tienen las siguientes:

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. G.O: N° 5.453. Fecha: 24/03/00. En sus artículos 127,128,129,178 y 184.
- Decreto 2216: "Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de origen Doméstico, Comercial, Industrial, o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos".
- Ley N° 555: Sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (publicada en gaceta oficial N° 5.554, extraordinario de fecha 13 de Noviembre 2001) .
- Ley Orgánica del Ambiente. G.O. N° 5.833. Fecha 22/12/06
- Ley Orgánica de Desechos y Residuos Sólidos. G.O. N° 38.068 Fecha 18/11/04
- Ley Penal del Ambiente G.O. N° 4.358 Fecha 3/1/92
- Decreto 5212: " Normas para el control de la recuperación de Materiales Peligrosos y el manejo de los Desechos Peligrosos"
- Normativa Ambiental del Municipio Libertador.

### ANEXO 3: MÉTODO DE PUNTOS PONDERADOS

La elección de dispositivo de Biodigestión que se adaptó a los requerimientos y especificaciones, fue seleccionado aplicando el Método de puntos ponderados, la evaluación, como se mencionó, se realizó en una escala del 1 al 5, con la finalidad de obtener el dispositivo más conveniente a aplicar a continuación se presenta las puntuaciones de cada uno de los requerimientos y especificación por tipo de Biodigestor, multiplicado por las respectivas ponderaciones de cada uno de estos. La calificación de cara uno de los requerimientos y especificaciones, quedó sujeta al criterio del evaluador.

**Tabla 26.** Puntuaciones de Requerimientos y Especificaciones de Diseño

Requerimientos y Especificaciones de Diseño	Tecnologías Existentes						Ponderaciones
	Régimen Continuo		Régimen Semi-Continuo		Régimen Estacionario		
	Biodigestor de Cúpula Flotante / Biodigestor Tubular		Biodigestor de Cúpula Fija		Biodigestor OLADE-Guatemala		
Puntuación/Ponderación	Puntuación	Ponderación	Puntuación	Ponderación	Puntuación	Ponderación	
Empleo de material orgánico compostable y no compostable	2	0,1170	4	0,1170	1	0,1170	11,70%
Ninguna o Baja emisión de olores	5	0,1234	5	0,1234	4	0,1234	12,34%
Costos de Mantenimiento	2	0,1067	5	0,1067	4	0,1067	10,67%
Período de Retención (de 30 a 40 días)	2	0,0977	5	0,0977	1	0,0977	9,77%
Construcción con materiales convencionales	1	0,0758	5	0,0758	4	0,0758	7,58%
Generación de abono	1	0,15424	4	0,15424	5	0,1542	15,42%
Generación de Gas	5	0,1041	4	0,1041	1	0,1041	10,41%
Complejidad de Diseño	2	0,1028	3	0,1028	4	0,1028	10,28%
Requerimiento de Almacenamiento de Materia Prima	1	0,1183	3	0,1183	5	0,1183	11,83%
<b>Total</b>	<b>2,33</b>		<b>4,18</b>		<b>3,32</b>		<b>100%</b>

Fuente. *Elaboración Propia*

Las puntuaciones otorgadas a cada uno de los requerimientos y especificaciones de diseño, corresponden a la importancia dada a cada uno de estos, representada en forma numérica. Esta puntuación fue ponderada y totalizada por tipo de dispositivo, del cual se elige aquél con mayor puntuación total.



Las puntuaciones de cada uno de los dispositivos, por requerimiento y especificación, se basaron en el juicio del diseñador, tomando como base para efectuar la evaluación, las investigaciones documentales realizadas acerca del tema.

## ANEXO 4: DOCUMENTACIÓN EXPERIMENTAL

### 4.1. Caracterización de la Materia Orgánica

Para la implementación de una prueba piloto, cuya finalidad fue aportar información de como un Biodigestor o una serie de estos actuarían si se realizara la instalación de los mismos dentro de la UCAB a unas condiciones de temperatura y presión dadas, se realizó una recolección de desperdicios generados dentro del campus universitario, para el montaje de 3 pruebas pilotos las cuales trabajaron bajo las mismas condiciones. Los desperdicios seleccionados fueron los siguientes:

- Borra de Café y Té
- Residuos con alto contenido de fibra como: cáscaras de plátano, pimentón, cebolla, entre otros.
- Residuos de carne blanca (Pollo y pescado), sin incluir huesos, únicamente grasas y partes blandas
- Materia Seca, como desechos de jardinería (Hojas secas).

#### 4.1.1 Procedimiento Experimental

##### 4.1.1.1 Preparación de la Mezcla Orgánica

Para que el proceso de biodigestión de los desperdicios seleccionados se desarrolle apropiadamente, estos fueron adecuadamente condicionados para este propósito, es por ello, que primero se procedió a la trituración de todos los desperdicios que fueron empleados como materia prima, con la finalidad de obtener el menor tamaño posible, de los materiales leñosos y fibras vegetales, se buscaba una dimensiones aproximadamente de 10 mm a 20 mm, que permitiera el mayor contacto ente los microorganismos y la superficie del material.

Los materiales utilizados para la preparación de la mezcla fueron los siguientes:

- Licuadora
- Cuchillo de Cocina
- Mortero
- Tabla para cortar

Antes de ser triturada, en el proceso de licuado, la materia orgánica (cada uno de los desperdicios), fueron previamente picados a las menores dimensiones posibles para facilitar el mismo. Posterior a esto se procedió a realizar el triturado en la licuadora obteniéndose la mezcla orgánica la cual es presentada en la **Ilustración 24**



**Ilustración 24.** Mezcla Orgánica Triturada  
Fuente. *Elaboración Propia*

#### **4.1.2. Preparación del Montaje**

Para la elaboración de la prueba piloto, se tomó la decisión de realizar tres montajes a iguales proporciones de mezcla orgánica y agua (1:3), con esto se apreció las condiciones de salida del efluente, resultado de la descomposición anaerobica dentro de cada uno de los contenedores, lo cual fue tomado en cuenta para el diseño del sistema de extracción del Biodigestor. A cada uno de los montajes se procedió a tomar lectura de la variación de presión en forma diaria.

Los materiales utilizados para la construcción de los montajes fueron los siguientes:

- 3 Tablas de madera de 1m x 60 cm
- Tubo plástico de diámetro 3/8 de pulgada
- 3 envases de agua de 5,7 L.
- Teipe Plomo

- Clavos
- Alambre
- Martillo
- 3 Tapones de goma

Para la medición de la variación de altura la cual determinará la presión dentro del sistema, se construyeron tres manómetros de agua (uno para cada montaje, respectivamente) los cuales estarán conectados a cada uno de sus correspondientes recipientes en todo momento, donde se veló que durante el proceso de elaboración y armado de los tres sistemas, no existiese ningún tipo de fuga

El armado completo de los sistemas se muestra en la **Ilustración 25** , a continuación.



**Ilustración 25.** Montajes Armados  
**Fuente.** *Elaboración Propia*

A cada uno de los montajes se le fue suministrado 100g de mezcla orgánica, y un volumen de agua de 300 ml. Una vez colocada la mezcla con agua dentro del recipiente contenedor, se procedió a ser sellado.

Una vez sellados los tres recipientes, se continuó, con el llenado de la columna de agua en cada uno de los manómetros. Una vez hecho esto se empezó a tomar anotaciones diarias durante un lapso de tiempo de dos semanas y media aproximadamente (sin incluir fines de semana). Se realizó el

registro de la variación de altura manométrica para cada uno de los montajes, adicional a esto se realizó el registro de presión atmosférica y temperatura ambiental dentro de la habitación donde los montajes se encontraban ubicados. Se detuvo el proceso de medición al momento en el cual la presión manométrica de los sistemas dejó de variar y pasó a mantenerse constante, esto ocurrió durante los últimos 5 días que se realizaron las respectivas mediciones. Los datos recolectados durante dos semanas y media de mediciones se presentan a continuación en la **Tabla 26** y la **Tabla 27** en diferentes unidades de medición de presión.

**Tabla 27.** Datos Presión Biogás en cm de Agua

P1	P2	P3	Temp (C°)
Presión (cmH2O)	Presión (cmH2O)	Presión (cmH2O)	
0,5	1,0	0,4	24,4
0,5	1,0	0,4	26,2
0,8	1,0	0,4	26,3
0,8	1,0	0,5	26,1
0,7	1,0	0,4	25,2
0,7	1,5	0,5	26,2
0,7	1,5	0,5	25,2
0,7	1,5	0,5	26,1
0,8	1,5	0,8	26,3
0,9	1,5	0,7	26,1
0,9	1,5	0,7	26,3
1,0	1,4	0,7	26,3
1,0	1,4	0,8	24,2
1,0	1,4	0,8	23,6
1,5	2,0	1,0	25,8
1,5	2,5	1,4	26,2
1,5	2,5	1,4	25,9
1,5	2,5	1,4	26,4
1,5	2,5	1,4	25,1

Fuente. *Elaboración Propia*

**Tabla 28.** Datos Presión Biogás en mm de Mercurio

P1	P2	P3	Temp (C°)
Presión (mmhg)	Presión (mmhg)	Presión (mmhg)	
0,3676	0,7353	0,2941	24,4
0,3676	0,7353	0,2941	26,2
0,5882	0,7353	0,2941	26,3
0,5882	0,7353	0,3676	26,1
0,5147	0,7353	0,2941	25,2
0,5147	1,1029	0,3676	26,2
0,5147	1,1029	0,3676	25,2
0,5147	1,1029	0,3676	26,1
0,5882	1,1029	0,5882	26,3
0,6618	1,1029	0,5147	26,1
0,6618	1,1029	0,5147	26,3
0,7353	1,0294	0,5147	26,3
0,7353	1,0294	0,5882	24,2
0,7353	1,0294	0,5882	23,6
1,1029	1,4706	0,7353	25,8
1,1029	1,8382	1,0294	26,2
1,1029	1,8382	1,0294	25,9
1,1029	1,8382	1,0294	26,4
1,1029	1,8382	1,0294	25,1

Fuente. *Elaboración Propia*

#### 4.1.3. Análisis de Ácidos Húmicos y Fúlvicos

El análisis de ácidos Húmicos y Fúlvicos (cuya mezcla, es denominada como humus) se realiza con la finalidad de determinar en forma cuantitativa la riqueza de la muestra, y que tan fructífero sería su aprovechamiento como abono o fertilizante en un terreno que por varias condiciones ya no presenta los nutrientes necesarios para sostener vida vegetal.

Los ácidos Húmicos y Fúlvicos son complejas agrupaciones macromoleculares en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos sintetizados por ciertos microorganismos presentes en suelo.<sup>48</sup>

#### **4.1.3.1. Metodología experimental para la medición de Ácidos Húmicos y Fúlvicos**

La metodología para la determinación o medición de ácidos Húmicos y Fúlvicos se basó principalmente en la metodología extraída de un trabajo de grado, el cual lleva por título el siguiente:

***“Estudio de la influencia de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) sobre las variables fisicoquímicas de suelos contaminados con aceites lubricantes.”***

Trabajo Especial de Grado realizado por Acosta Roversi, (2008). Universidad Pedagógico Experimental. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela. Trabajo Especial de Grado

- ***Materiales y Reactivos:***

**Materiales.** Los materiales requeridos para esta determinación son: matraces aforados de 50 mL, beakers de 50 mL, agitador de vidrio, espátula, balanza analítica y papel parafinado.

**Reactivos.** Los reactivos requeridos para esta determinación son: muestras de suelos contaminados con aceites lubricantes, HCl 0.5 mol/ dm<sup>3</sup> y NaOH 1 mol/ dm<sup>3</sup>, y agua destilada.

- ***Procedimiento Experimental***

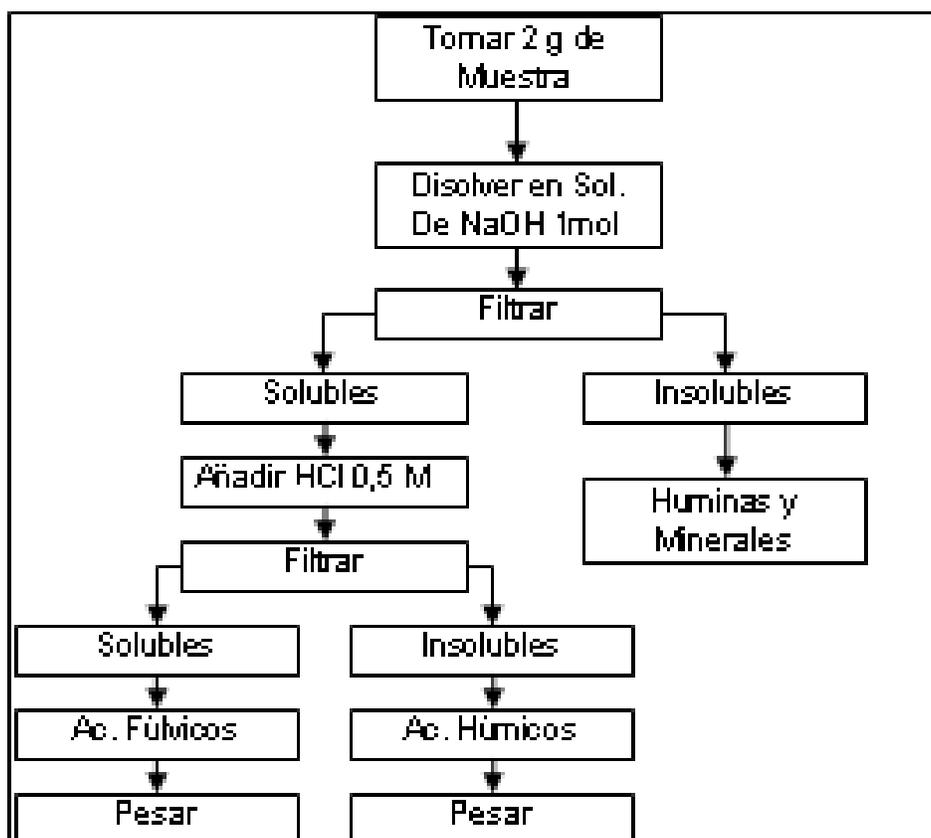
Esta determinación se basa la diferencia de solubilidad que poseen los ácidos Húmicos, Fúlvicos y huminas presentes en el suelo en diferentes medios, básicos y ácidos, lo cual permite su separación. Para esta

---

<sup>48</sup> *Ácidos Húmicos y Ácidos Fúlvicos.* (2011), Recuperado el 3 de Abril de 2011, de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>

determinación se toman 2 g de suelo y se disuelven en una solución de NaOH (medio básico) y se filtra. Esto para separar las huminas y minerales presentes en el suelo que son insolubles en medio básico. Al filtrado soluble se le agrega HCl (medio ácido) para separar los húmicos y Fúlvicos insolubles en medio ácidos. El residuo insoluble en el ácido corresponde al contenido de ácidos Húmicos y el residuo soluble al contenido de ácidos Fúlvicos.

De este Trabajo Especial de Grado se extrajo, como ya se mencionó, la metodología experimental para la determinación de Ácidos Húmicos y Fúlvicos en cada una de las muestras de residuos correspondientes a cada uno de los montajes posterior a su biodigestión, metodología que es presentada la **Ilustración 26** :



**Ilustración 26.** Metodología Experimental

**Fuente:** "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS LOMBRICES ROJAS CALIFORNIANAS (*EISENIA FOETIDA*) SOBRE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE SUELOS CONTAMINADOS CON ACEITES LUBRICANTES." Acosta Roversi, (2008). Universidad Pedagógico Experimental. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela.

Posterior al proceso de Biodigestión el efluente generado dentro de cada uno de los recipientes, se dejó secar y mezcló con materia seca, este proceso se realizó para someter el mismo a un proceso de Lombricultura el cual enriqueciera aún más el contenido de humus en el efluente o Biól.

Los resultados obtenidos del análisis de Ácidos Húmicos y Fúlvicos se presentan a continuación en el **Tabla 28**

**Tabla 29.** Resultados Húmicos y Fúlvicos

Tipo de Materia	Materia Seca	Humus	% Humus
Mezcla Orgánica	8,566	2,7964	32,644%
Biól	3,770	0,08	2,122%
Biól procesado por Lombrices	46,524	38,7643	83,321%

Fuente. *Elaboración Propia*

- **Discusión de Resultados y Conclusiones**

Al apreciar los resultados expuestos en la **Tabla 28**, se notó un notable incremento en el porcentaje de humus (ácidos húmicos y fúlvicos), en el Biól procesado por las lombrices, en comparación con la mezcla orgánica y el Biól producto del proceso de descomposición anaeróbica, lo interesante de los resultados obtenidos es la comparación que se realizó entre el porcentaje de humus de la mezcla orgánica y el Biól producto de la descomposición anaeróbica anterior al proceso de Lombricultura. Como se puede apreciar en la **Tabla 28** el Biól producto de la descomposición anaeróbica antes del proceso de Lombricultura, presentó un porcentaje de humus bastante menor en comparación al porcentaje de humus de la mezcla original, esto se debe a que los procesos de descomposición anaeróbicos por lo general producen un efluente o Biól con porcentajes muy bajos de humus, producto del proceso de descomposición en si, dependiendo del tipo de mezcla orgánica con la cual se esté trabajando, es por ello que fue aplicado un proceso de Lombricultura posterior a la obtención del Biól para su enriquecimiento, el cual es bastante notable a través de los resultados obtenidos.

Un alto porcentaje de humus implica un crecimiento de bacterias que fomentan la fijación de Nitrógeno en los suelos, permitiendo el crecimiento de nueva vida vegetal.

Con la intención de hacer una medición de poder inferir a groso modo el contenido de bacterias presentes en cada una de las muestras, se realizó el análisis de carbono orgánico presente en estas, hay que recordar que estas bacterias, las cuales ayudan a la fijación de nitrógeno en los suelos, consumen carbono orgánico, y la presencia de este influye a la proliferación o no de las mismas. Relativo a esto se realizó la determinación de carbono orgánico total en las muestras, a través de un análisis de colorimetría.

#### ***4.1.4. Determinación de Carbono Orgánico presentes en las muestras de antes y después de Biodigestión y Lombricultura por colorimetría***

Con la determinación de Ácidos Húmicos y Fúlvicos no es suficiente para evaluar la riqueza de la mezcla antes y después de proceso de biodigestión y Lombricultura, es por ello que se realizó en análisis de carbono orgánico presente en cada una de las muestras.

Para la realización del procedimiento experimental, se utilizaron los siguientes materiales y reactivos:

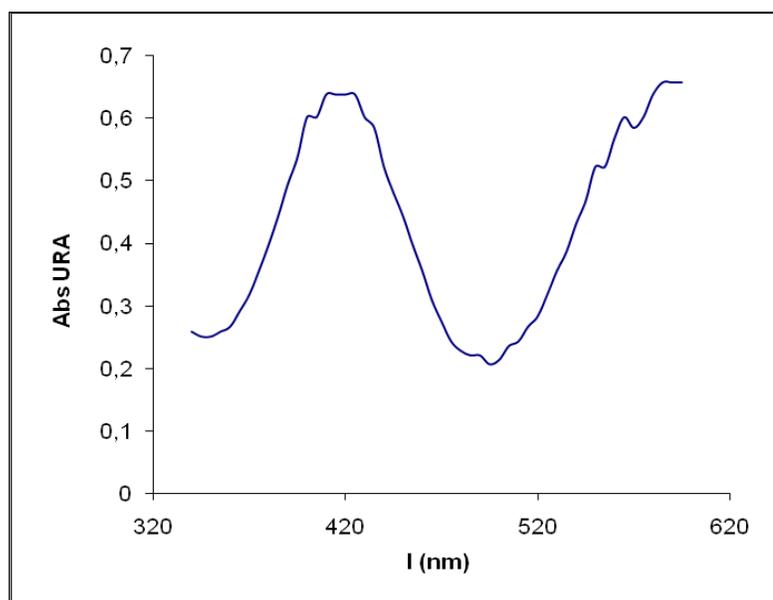
- **Materiales:** Matraces aforados de 50 cm<sup>3</sup> y 100 cm<sup>3</sup>, beakers de 50, 100 y 150 cm<sup>3</sup>, agitador de vidrio, espátula, pipetas 1,5, 10 cm<sup>3</sup> balanza analítica, espectrofotómetro, celdas de cuarzo de 1cm de paso óptico, papel parafinado y pizeta.
- **Reactivos:** Solución de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 8 %, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, solución de glucosa al 12,513%. Esta solución tendrá 50 mg de carbono orgánico (CO) por cm<sup>3</sup> (solución madre) con esta solución se prepararon los patrones de concentración 2,5; 7,5; 10 mg de CO/ cm<sup>3</sup>.

##### ***4.1.4.1. Descripción del Procedimiento Experimental***

El presente procedimiento implicó, la preparación de una serie de patrones, los cuales al determinar la absorbancia para cada uno y relacionando la misma con la concentración, permitirán determinar la concentración de C orgánico presente en las muestras en estudio.

Para la preparación de los patrones se procedió a preparar una solución madre de glucosa al 12,513%. De dicha solución de tomaron 2,5; 7,5; 10 cm<sup>3</sup>, y

se llevaron a un volumen de  $100\text{ cm}^3$  con agua destilada. Posteriormente se extrajo de cada patrón  $1\text{ cm}^3$  para proceder oxidar el carbono presente con  $2\text{ cm}^3$  de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  al 8%, el cual al reducirse (cambiar de estado de oxidación de 6+ a 3+) en presencia del  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , que proporciona el medio necesario para que ocurra la reacción, se produce un cambio de coloración de naranja a verde indicando la oxidación del carbono presente en las soluciones. Es importante destacar que al añadir el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a los tubos de ensayo la reacción producida es exotérmica, con lo cual hay que esperar que la solución se enfríe para añadir el agua y asegurar que dicha reacción se ha completado. Al realizar las mediciones se obtuvo una curva de calibración, la cual muestra los landas la absorbancia máxima a una longitud de onda determinada, esta se muestra en la **Ilustración 27**



**Ilustración 27.** Absorbancia Máxima  
Fuente: *Elaboración Propia*

El objetivo principal de esto, es la búsqueda del punto donde ocurre la mayor absorbancia, con esto se apreció la mejor señal, lo que implica una mayor sensibilidad en la lectura, es por ello que se decidió para la determinación de la cantidad de carbono orgánico trabajar a una longitud de onda de  $420\text{ nm}$ . A continuación en la **Tabla 29** se presentan los resultados obtenidos de la determinación de carbono orgánico a distintas cantidades de sol madre.

Tabla 30. Absorvancia a 420 nm

Volumen de madre (ml)	C C(g/L)	%T	Abs
2,50	1,251	6	1,22184875
7,50	3,753	46	0,33724217
10,00	5,004	60	0,22184875

Fuente. Elaboración Propia

Posterior a la determinación de las absorvancias de la solución madre a distintos volúmenes y una longitud de onda de 420 nm, se determinó la absorvancia de cada una de las muestras a esta misma longitud de onda, los resultados de esto se presentan a continuación la **Tabla 30**.

Tabla 31. Absorvancia de muestras a 420 nm

Tipo de Materia	% T	Ab
Biól procesado por Lombrices	15	0,82390874
Mezcla Orgánica	43	0,36653154

Fuente. Elaboración Propia

Como se puede apreciar las absorvancias de cada una de las muestras caen dentro del rango, generado por la solución madre a distintos volúmenes. A continuación en la **Ilustración 28** se presenta la curva de concentración de carbono orgánico determinada a partir de los datos presentados en la **Tabla 30**.

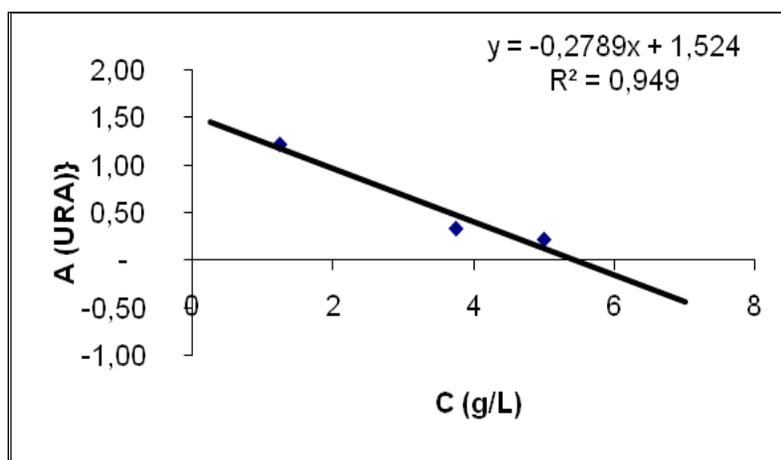


Ilustración 28. Curva de Carbono Orgánico

Fuente: Elaboración Propia

Ya con la recta de concentración de carbono orgánico elaborada, se procedió a la determinación de este en cada una de las muestras, los resultados se presentan en la **Tabla 31**.

Tabla 32. Concentración Carbono Orgánico

Tipo de Materia	% T	Ab	C (g/l)
Biól procesado por Lombrices	15	0,82390874	2,51018738
Mezcla Orgánica	43	0,36653154	4,15011996

Fuente. *Elaboración Propia*

- **Discusión de Resultados y Conclusiones**

A partir de los resultados obtenidos, se puede evidenciar que el contenido de carbono disminuye de una muestra a otra. La muestra con mayor contenido de carbono orgánico fue la correspondiente a la mezcla orgánica, y aquella con menor contenido de carbono orgánico fue aquella correspondiente al Biól después de someterse al proceso de Lombricultura, al apreciar esto se puede afirmar que se obtuvieron resultados coherentes que coinciden con los resultados del análisis de húmicos y fúlvicos.

Si se considera el carbono orgánico como el combustible o alimento para que las poblaciones de bacterias encargadas de la fijación de nitrógeno en los suelos, crezcan y prosperen es de esperarse que en aquellos casos donde hay menor contenido de carbono orgánico, sea donde se pueda llegar a apreciar menor cantidad en la población de bacterias fijadoras de Nitrógeno y viceversa, una muestra con mayor contenido de carbono orgánico, ayuda a inferir que el número en la población de estas bacterias es reducido.

## ANEXO 5: CÁLCULO DIMENSIONES DE BIODIGESTOR

Las dimensiones presentadas en la **Tabla 14**, fueron obtenidas a partir de la unidad proporcional  $U$ , la cual representa la cuarta parte del radio básico como se muestra en la **Ecuación 3**. Los cálculos de estas dimensiones se muestran a continuación:

$$Rc = 5.U = 5.0,48 = 2,38m$$

**Ecuación 4.** *Cálculo Radio de la Cúpula*

$$D = 8.U = 8.0,48 = 3,80m$$

**Ecuación 5.** *Cálculo Diámetro del Biodigestor*

$$hc = 2.U = 2.0,48 = 0,95m$$

**Ecuación 6.** *Cálculo de Altura de Cúpula*

$$hp = 3.U = 3.0,48 = 1,43m$$

**Ecuación 7.** *Cálculo de Altura de Pared*

$$ht = 0,15.D = 0,15.3,80 = 0,57m$$

**Ecuación 8.** *Cálculo de Altura de Cono Base*

Para el cálculo y determinación de las dimensiones presentadas en la Tabla 14 se utilizó como fuente, el libro **“Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas”** de Guardado C, José A y publicado en el año 2007 en la Habana, Cuba.



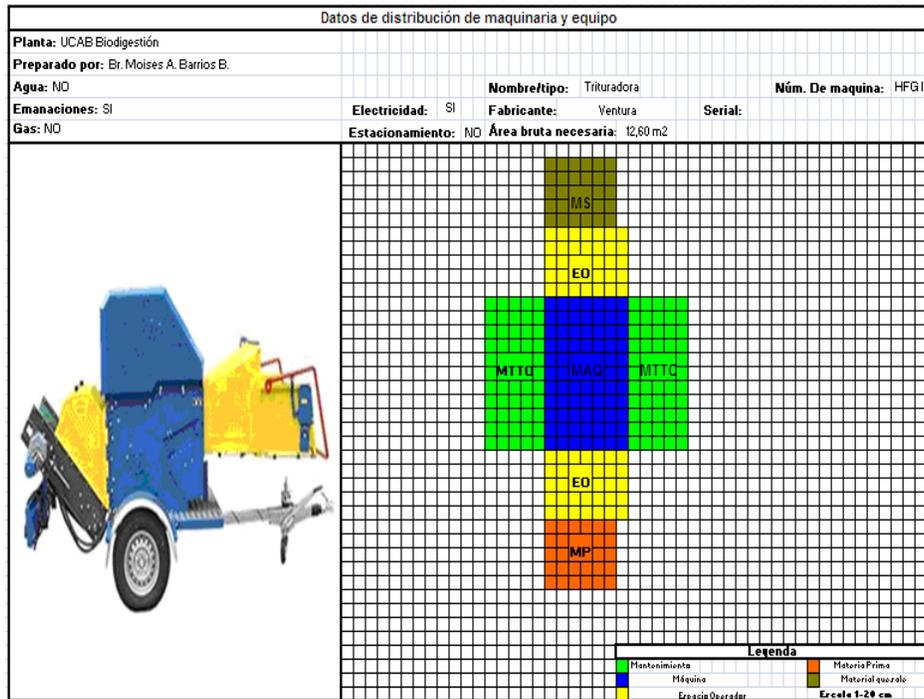


Ilustración 30. Trituradora

Fuente: DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN DESTINADA AL MANEJO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA UCAB, CAMPUS CARACAS Informe de Pasantías realizado por Panyella, Mónica Alejandra. Universidad Católica Andrés Bellos. Octubre 2010. Caracas, Venezuela.

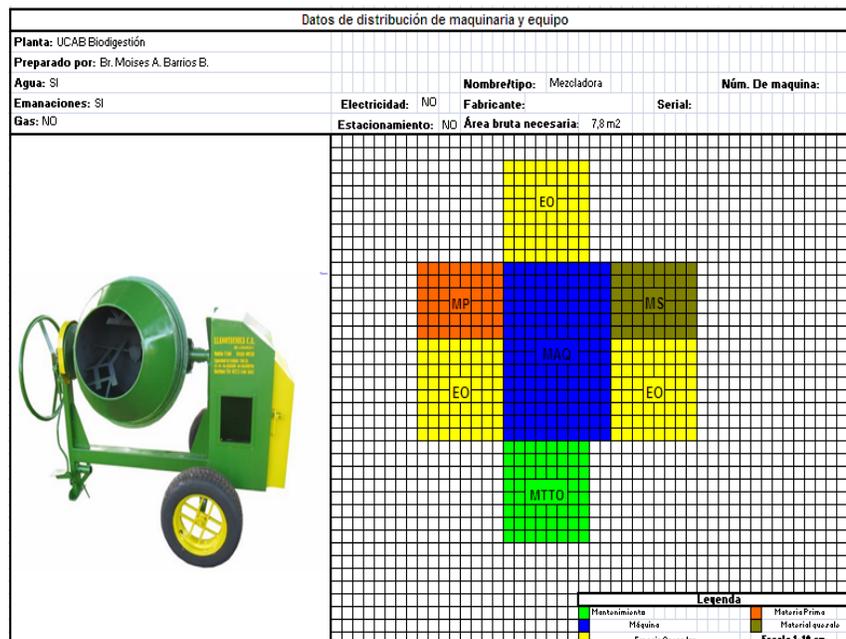
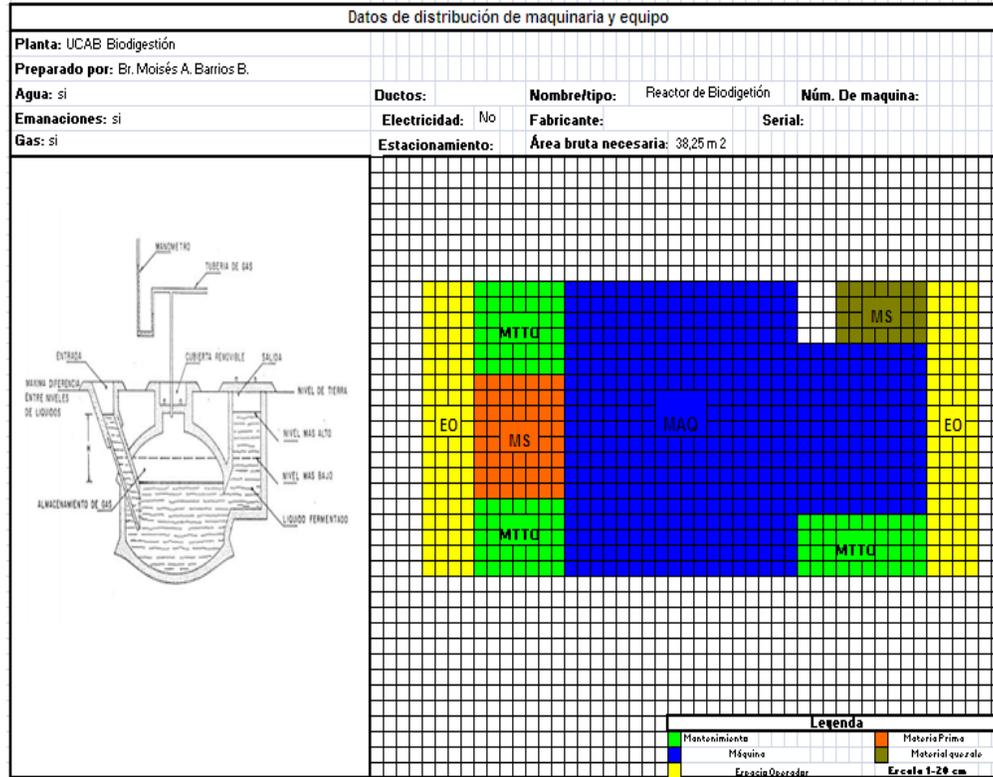
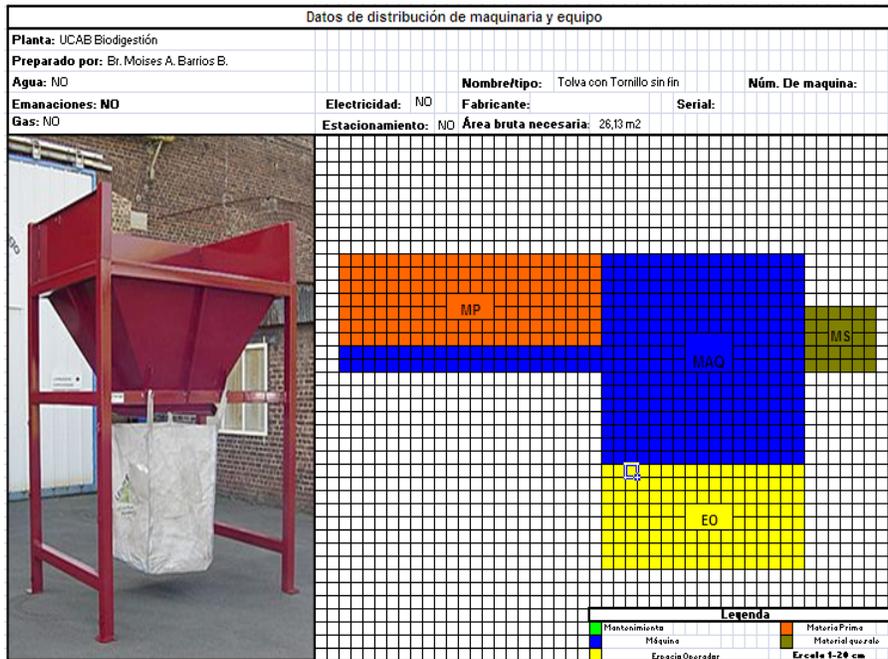


Ilustración 31. Mezcladora

Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 32. Biodigestor**  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Ilustración 33 Tolva de Empaquetado**  
Fuente: *Elaboración Propia*

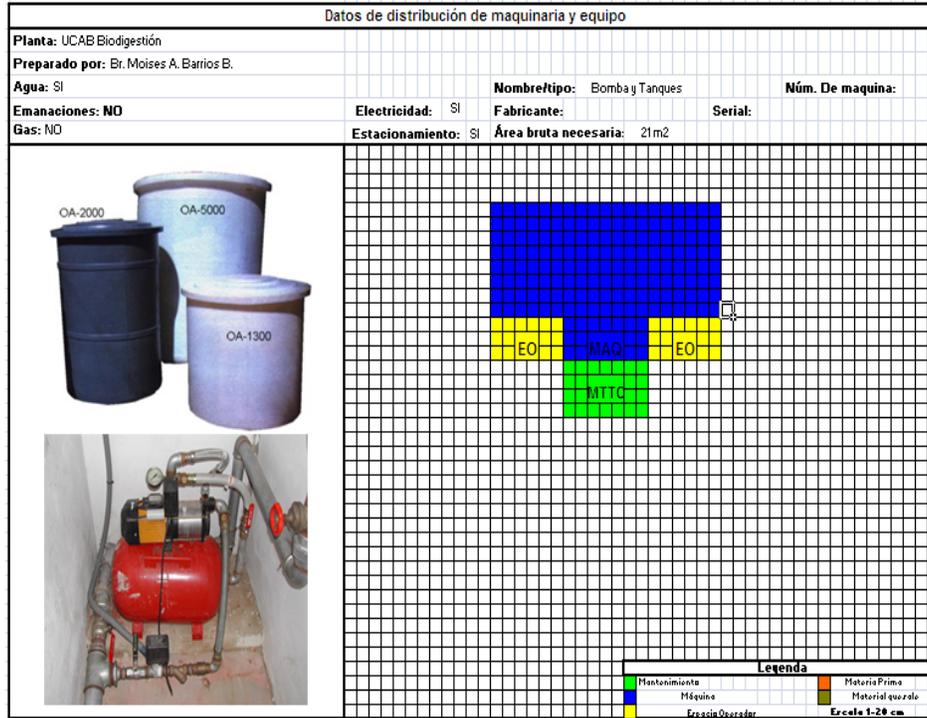


Ilustración 34. Cuarto de Bombas

Fuente: Elaboración Propia

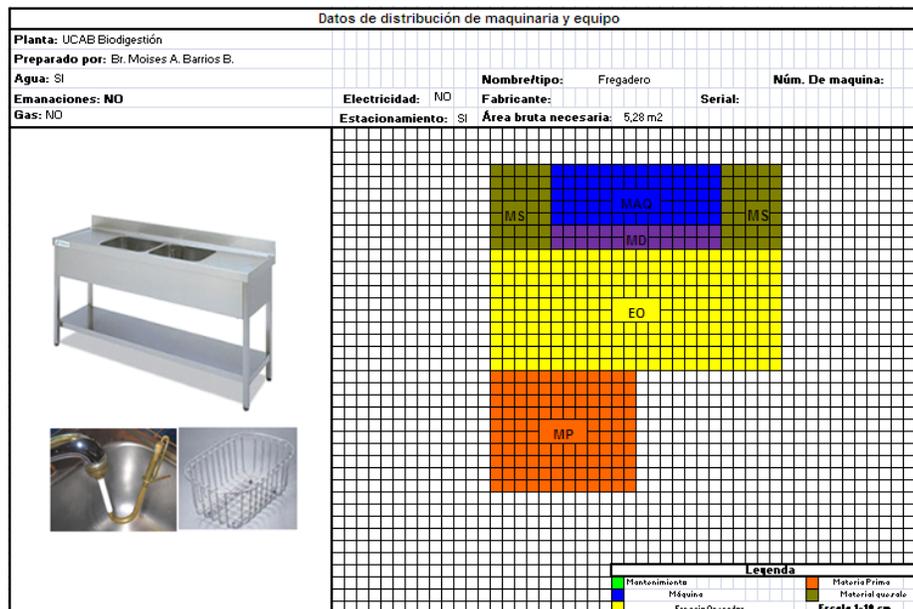


Ilustración 35. Área de Lavado

Fuente: DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN DESTINADA AL MANEJO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA UCAB, CAMPUS CARACAS Informe de Pasantías realizado por Panyella, Mónica Alejandra. Universidad Católica Andrés Bellos. Octubre 2010. Caracas, Venezuela.

Las distribuciones de equipo-máquina presentados anteriormente, ayudaron a determinar el requerimiento de espacio total para el desarrollo de las actividades primarias. Los requerimientos de espacio de las áreas en donde se desarrollaran las actividades de apoyo, fueron obtenidas a partir de la documentación bibliográfica de trabajos anteriores a este. Los requerimientos de espacio de cada área son presentados en la **Tabla N° 17**

- **Baños y Vestidores:** El cuarto de baño cuenta con lavamanos y un inodoro. Los vestidores están conformados por un armario donde el (los) trabajador (es) podrán guardar sus pertenencias personales.
- **Oficinas:** La oficina contará con espacio suficiente para contener un escritorio, silla y un archivador.
- **Zona de Carga y Descarga:** Este espacio está configurado de manera adecuada para la carga y descarga de material en la instalación.

Como criterio se tomo un ancho de pasillos de no menos 0,8 m o 80 cm, este valor se obtuvo a partir de las investigaciones bibliográficas realizadas y la consulta con expertos en el área.

Para el caso del requerimiento de espacio de los almacenes de materia prima y producto terminado, se determinaron los respectivos requerimientos a partir del tipo de carga unitaria que estos contendrían, es decir, para el caso del almacén de materia prima, este debe ser capaz de contener palettes de dimensiones 1,2 x 1 m, con una holgura de pasillo entre estas de 2,92 m, procurando así un espacio suficiente para el transito de los apiladores que se desplacen por el área. En el caso del almacén de producto terminado, fue empleado el mismo criterio únicamente variando el concepto de carga unitaria, que serán sacos capaces de contener 24 Kg de producto terminado de dimensiones de 50x70x22 cm.

## ANEXO 7: DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE BIODIGESTIÓN

Como se hace referencia en el **Capítulo V**, para la distribución de la planta, fue necesario evaluar los requerimientos de espacio de cada máquina y equipo que en esta se encontrará, a partir de esto, fue dimensionada cada área de la planta, (los requerimientos de espacio para cada área son presentados en la **Tabla N° 17**). Con los requerimientos de espacio de cada área se procedió a realizar el diagrama de grilla, en base a la distribución obtenida en el diagrama de nodos (**Figura N° 19**).

A continuación se presentan los diagramas de grillas con la distribución propuesta de la planta.

A cada diagrama de grilla le fue evaluada la eficacia por medio de la cuantificación de las prioridades existentes entre cada área, es decir, a cada una de las prioridades existentes entre las áreas le fue asignado un valor numérico, cada uno de estos valores fue ponderado por el número de grillas que separa a cada área, en principio se debe elegir aquella grilla cuya totalización obtenga el valor más pequeño.

A continuación en la **Tabla N° 32** se presenta el valor numérico otorgado a cada una de las relaciones:

**Tabla 33.** Valor numérico de relación entre áreas

Código	Valor Numérico
A	4
E	3
I	2
O	1
U	0
X	-1

Fuente: *Elaboración Propia*

• Opción 1

Tabla 34. Cálculo de Eficacia (opción 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sumatoria	Sumatoria (Efic)	
1		4	3	0	-1	1	4	0	1	0	2	0	0	-1	13	-7	
2			4	0	-1	0	2	0	0	0	2	0	0	-1	6	1	
3				4	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	11	4	
4					4	2	0	0	0	0	0	0	0	-1	5	-8	
5						4	1	0	0	0	1	0	0	0	6	4	
6							4	0	0	0	2	0	0	-1	5	0	
7								0	0	0	0	0	0	-1	-1	-7	
8									2	-1	0	0	0	-1	0	-16	
9										2	-1	0	0	-1	-3	-25	
10											0	0	0	-1	-1	-9	
11												3	1	0	4	8	
12													0	0	0	0	
13														4	4	0	
14															<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>-55</b>

Fuente: Elaboración Propia

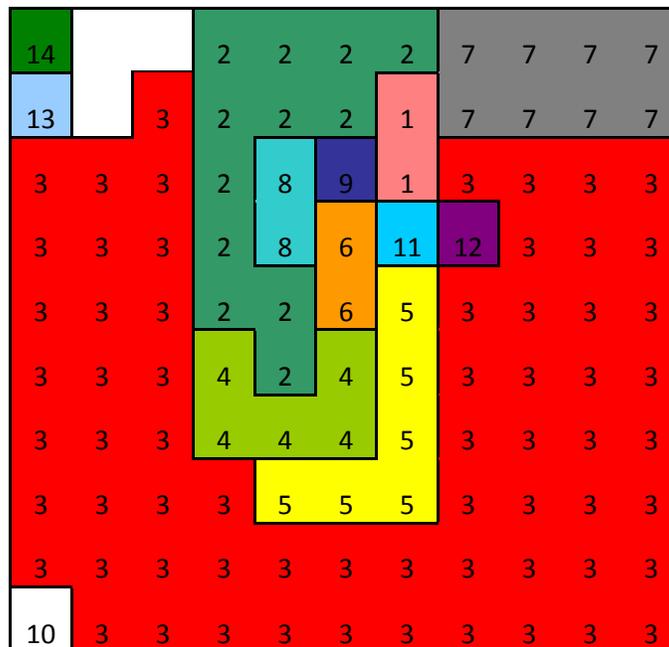


Ilustración 36. Diagrama de Grilla (opción 1)

Fuente: Elaboración Propia

- **Opción 2**

**Tabla 35.** Cálculo de Eficacia (opción 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sumatoria	Sumatoria (Efic)	
1		4	3	0	1	1	4	0	1	0	2	0	0	-1	13	3	
2			4	0	1	0	2	0	0	0	2	0	0	-1	6	-1	
3				4	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	11	14	
4					4	2	0	0	0	0	0	0	0	-1	5	-10	
5						4	1	0	0	0	1	0	0	0	6	2	
6							4	0	0	0	2	0	0	-1	5	-10	
7								0	0	0	0	0	0	-1	-1	-7	
8									2	-1	0	0	0	-1	0	-16	
9										2	-1	0	0	-1	-3	-25	
10											0	0	0	-1	-1	-9	
11												3	1	0	4	8	
12													0	0	0	0	
13														4	4	0	
14															<b>Total</b>	<b>49</b>	<b>-51</b>

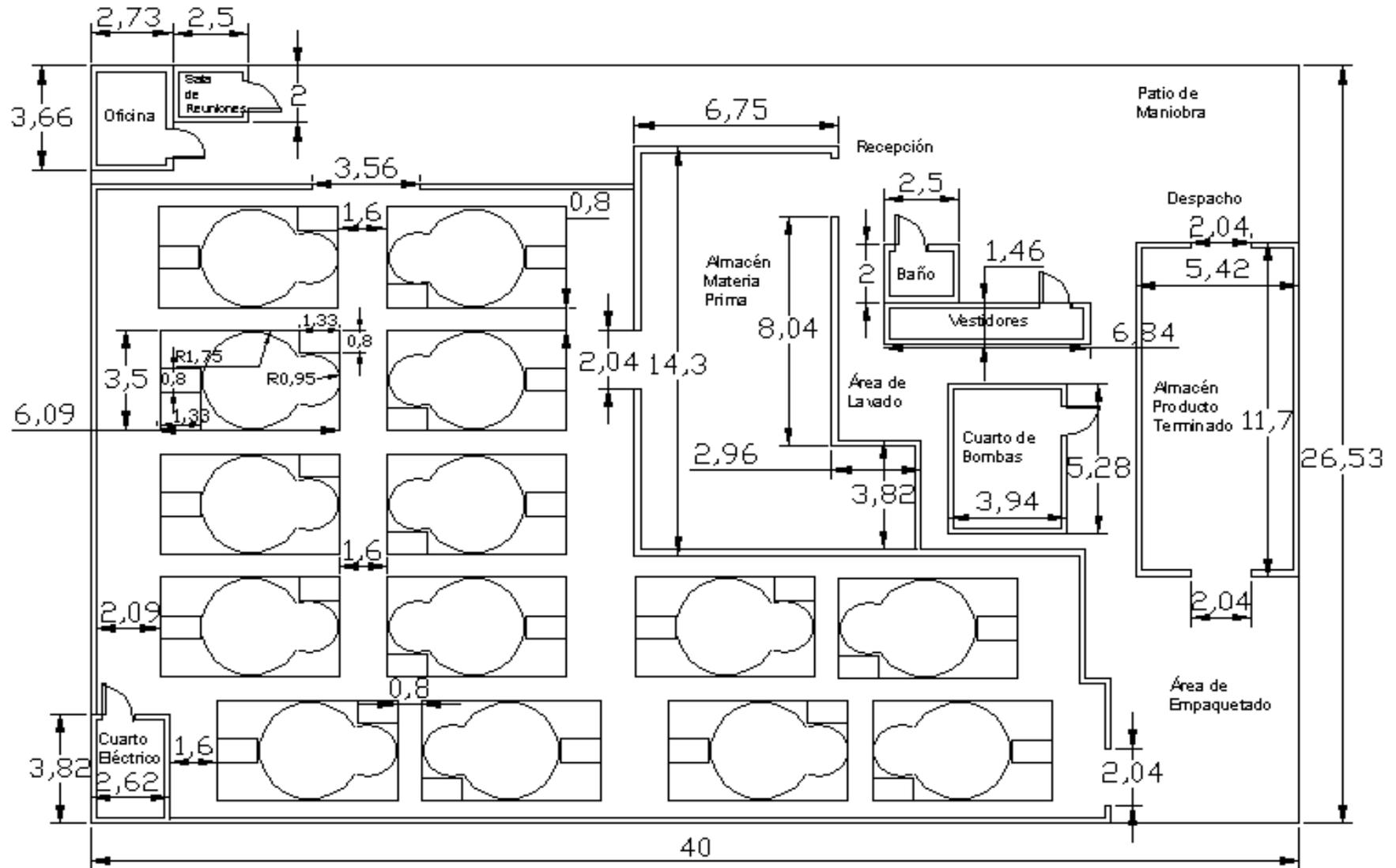
Fuente: *Elaboración Propia*

Ya que el resultado de las eficacias es muy semejante, se toma la opción número dos, como diagrama de grilla propuesto para la distribución de la planta, debido a no presentar tantas particiones de las áreas, como es el caso de la opción número 1 el diagrama se puede apreciar en la **Ilustración 18**.

## ANEXO 8: MATERIALES MÁS USADOS EN LA OBRA

- **Cemento:** Debe ser de calidad (Portland), preferiblemente de 350 Kg/m<sup>2</sup>, se utilizará para confeccionar los morteros y hormigones en toda la obra.
- **Piedra:** Se utilizará si el subsuelo es de poca firmeza, arcilloso.
- **Piedra de Hormigón (3/4”):** Será empleada para construir el hormigón del cono y el fondo del tanque de compensación.
- **Gravilla:** Se empleará para conformar el hormigón de los anillos, intermedios, el terminal del muro de bloque y la base de la cúpula, el anillo de cierre de ésta, así como las tapas y el cuello.
- **Arena:** Se utilizarán dos tipos de arena, arena lavada, la cual se empleará en la confección de los hormigones y arena de cantera, la cual se empleará en los morteros, para levantar los muros, los resanos y el escudo de la cúpula.
- **Cal:** Junto con la arena se usará en el escudo para el interior de la cúpula
- **Ladrillo de Cerámica:** De dimensiones de 12x25x6-5 cm de 140 kg/cm<sup>2</sup>; con el cual se construirá la cúpula y parte del cuello
- **Bloques de Hormigón:** Los bloques huecos de hormigón deben corresponder con las normas de fabricación, con los que se construirán el muro del biodigestor, y el tanque de compensación, la caja de carga y el tanque de Lombricultura.
- **Acero.** Se utilizarán cabillas de 3/8” o 1/2 “ corrugada tipo A 30 y cabillas lisas 1/4” de tipo A-24 en todas las armaduras, en los anillos y en las armaduras de las tapas.

## ANEXO 9: LAYOUT PLANTA DE BIODIGESTIÓN



<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE BIODIGESTIÓN	<b>ESCALA</b> 1:100	<b>ELABORADO POR:</b> Br. BARRIOS B. MOISÉS A
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> LAYOUT DE LA INTALACIÓN	<b>UNIDADES:</b> TODAS LAS UNIDADES PRESENTADAS SE ENCUENTRAN EN METROS	