



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN
BIODIGESTOR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS QUE SE GENERAN EN LOS
CENTROS DE COMIDA QUE FUNCIONAN
EN LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO
PÁEZ.**

Autores: Estraña N. María A.
C.I. 20.664.755
Sánchez P. Erik J.
C.I. 19.700.396

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240(Master)- Fax: (0241) 87123



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE
GENERAN EN LOS CENTROS DE COMIDA QUE FUNCIONAN EN LA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL.**

Autores: Estraño N. María A.
C.I. 20.664.755
Sánchez P. Erik J.
C.I. 19.700.396
Tutor: Ing. Castillo Emerly

San Diego, Noviembre de 2015.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Profesora. Emerly Castillo, portadora de la cedula de identidad N° 4.464.524, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado presentado por los bachilleres: María Alejandra Estraño Navas C.I. 20.664.755 y Erik Joel Sánchez Parra C.I. 19.700.396, titulado **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE GENERAN EN LOS CENTROS DE COMIDA QUE FUNCIONAN EN LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 09 noviembre del año dos mil quince.

Ing. Emerly Castillo

C.I.: 4.464.524

AGRADECIMIENTO

Primero que nada queremos agradecer a Dios y a nuestros padres por su apoyo incondicional durante todo el proceso de nuestra carrera, por impulsarnos a terminar nuestros estudios, por su esfuerzo y dedicación. A nuestra hija por darnos la fortaleza de poder alcanzar esta meta trazada.

También queremos agradecer a nuestra tutora Ing. Emerly Castillo por sus conocimientos, orientación y paciencia la cual fue fundamental para culminar nuestro trabajo de grado. A todos nuestros profesores por enseñarnos todo lo necesario para lograr esta meta.

A nuestros amigos por estar siempre presentes en todo este tiempo, hemos disfrutado, compartido y aprendido con ustedes, gracias por toda su ayuda, siempre podremos contar con ustedes. A nuestros compañeros por todos esos momentos compartidos, este es solo un comienzo para todo lo bueno que nos espera.

A toda nuestra familia gracias por estar siempre presente, fue muy importante su apoyo durante todo este tiempo.

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado a Dios por permitirnos llegar a este punto y por habernos dado salud para alcanzar este logro y situar en nuestro camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía en todo este periodo de estudio.

A nuestros familiares por velar por nuestro bienestar y educación a lo largo de nuestra vida, depositando en nosotros su confianza para cada reto que se nos presentara sin dudar de nuestra inteligencia y capacidad. Gracias a nuestros padres, hermanos, tíos y abuelos por hacer posible este logro y este es solo el comienzo de una vida llena de éxitos.

A nuestra hija por ser parte importante en nuestra vida, darnos el impulso día a día y fortalecernos para continuar en los momentos difíciles, todo este esfuerzo es para ti.

A nuestros profesores por ser parte de nuestra formación académica, por apoyarnos y motivarnos a culminar nuestros estudios profesionales. Principalmente a nuestra tutora Ing. Emerly Castillo por su tiempo compartido y por ayudarnos con la realización de nuestro estudio profesional y de nuestro trabajo de grado.

A nuestros amigos por compartir sus conocimientos, alegrías y tristezas. Por apoyarnos y lograr que esta meta se hiciera realidad. Por ser parte de nuestra vida todo este tiempo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURA.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICA.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivo de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivo Especifico.....	5
1.4 Justificación del Problema.....	5
1.5 Alcance.....	7
1.6 Limitaciones.....	7
II MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Residuos Sólidos.....	10
2.2.2 Clasificación de los Residuos Sólidos.....	11
2.2.3 Aprovechamiento de los Residuos Sólidos.....	12
2.2.4 Jerarquización de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos.....	14
2.2.5 Selección en Origen de los Residuos Sólidos.....	14
2.2.6 Efectos de los Residuos Sólidos Orgánicos en Rellenos Sanitarios y Botadero.....	15
2.2.7 Beneficios del Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos.....	16
2.2.8 Ciclo del Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos.....	17
2.2.9 Proceso para la Caracterización de los Desechos.....	18
2.2.10 Componentes del Proceso de Digestión Anaeróbica.....	18
2.2.11 Historia del Biodigestor.....	21
2.2.12 Origen de Biogás.....	23
2.2.13 Biodigestor.....	25
2.2.14 Biogás.....	27

2.2.15	Fuentes de Energía Alternativa.....	28
2.2.16	Proceso de Biodegradación.....	28
2.2.17	Procedimientos Estadísticos para los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos.....	32
2.3	Bases Legales.....	35
2.4	Definición de términos Básicos.....	39
III	MARCO METODOLÓGICO.....	41
3.1	Nivel de Investigación.....	41
3.2	Tipo de Investigación.....	41
3.3	Diseño de Investigación.....	41
3.4	Población y Muestra.....	42
3.5	Técnica e Instrumento de Recolección.....	42
3.6	Validez y Confiabilidad.....	43
3.7	Técnica de Análisis.....	43
3.8	Fases Metodológicas.....	43
IV	RESULTADOS.....	45
4.1	Fase I. Diagnosticar la situación actual del centro de comida al manejo de desechos orgánicos.....	45
4.2	Fase II. Incentivar a la comunidad al manejo de los desechos orgánicos y su procesamiento por medio del biodigestor anaeróbico.....	53
4.3	Fase III. Diseñar un biodigestor de flujo semicontinuo anaeróbico para la producción del gas metano por descomposición de materia orgánica proveniente del edificio 2 para la Universidad José Antonio Páez.....	54
4.3.1	Parámetros para el diseño del biodigestor horizontal.....	54
4.3.1.1	Temperatura y tiempo de retención:.....	54
4.3.1.2	Material prima disponible.....	55
4.3.1.3	Carga de mezcla diaria de entrada.....	56
4.3.1.4	Volumen total de la masa.....	57
4.3.1.5	Volumen total de biodigestor.....	57
4.3.1.6	Volumen de biogás.....	58
4.3.1.7	Producción de biogás.....	58
4.3.1.8	Longitud del Biodigestor.....	60
4.3.1.9	Conceptos en el dimensionado de un biodigestor.....	60
4.3.2	Calculo del Biodigestor Tipo Chino.....	63
V	CONCLUSIONES.....	68
	RECOMENDACIONES.....	71
VI	REFERENCIAS	73
	Referencias documentales.....	73
	Referencias electrónica.....	74
ANEXOS.....		75

LISTADO DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURA

Pp.

1	Jerarquización Residuos Sólidos.....	14
2	Origen de los Residuos Sólidos.....	15
3	Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos.....	17
4	Prototipo de Biodigestor.....	21
5	Origen del Metano.....	25
6	Método de Cuarteo.....	35
7	Tiempo de retención según la temperatura.....	55
8	Promedio del porcentaje de desecho por tipo.....	56
9	Tabla Porciones de Agua.....	57
10	Producción de gas según su tipo de residuo.....	59
11	Dimensiones de la zanja.....	62
12	Partes del biodigestor.....	63
13	Variables involucradas en el dimensionamiento del biodigestor.....	64
14	Corte transversal del esquema completo del biodigestor del diseño.....	66
15	Tanque de Compensación.....	66

LISTADO DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA

Pp.

1	Parámetro según el ancho de rollo.....	60
2	Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor.....	61
3	Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR).....	61
4	Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor.....	62

5	Resultados del volumen del biodigestor.....	63
6	Tabla comparativa de los biodigestores.....	67

LISTADO DE GRÁFICA

CONTENIDO

GRÁFICA

Pp.

1	Resultados de la 1era pregunta de la encuesta.....	46
2	Resultados de la 2da pregunta de la encuesta.....	46
3	Resultados de la 3era pregunta de la encuesta.....	47
4	Resultados de la 4ta pregunta de la encuesta.....	48
5	Resultados de la 5ta pregunta de la encuesta.....	49
6	Resultados de la 5ta pregunta parte b de la encuesta.....	50
7	Resultados de la 6ta pregunta de la encuesta.....	51
8	Resultados de la 7ma pregunta de la encuesta.....	52
9	Resultados de la 8vaa pregunta de la encuesta.....	53



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE
GENERAN EN LOS CENTROS DE COMIDA QUE FUNCIONAN EN LA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

Autor: María Alejandra Estraño Navas y Erik Joel Sánchez Parra

Tutor: Ing. Emerly Castillo.

Fecha: Septiembre, 2015.

RESUMEN

La siguiente investigación se basa en la clasificación de los desechos que se generan en la Universidad José Antonio Páez, para con dichas cantidades orientar una propuesta de diseño de un biodigestor anaeróbico para lograr un mejor aprovechamiento de los residuos orgánicos. La disposición de los residuos actualmente es una gran problemática a nivel nacional debido al colapso de los vertederos que se encuentran en funcionamiento, esta realidad afecta también el Municipio San Diego del Estado Carabobo, donde se localiza la universidad José Antonio Páez. Esta situación trae severas consecuencias que se reflejan en todas las etapas del ciclo, especialmente la recolección, lo que se manifiesta en la acumulación de los desechos en los distintos espacios urbanos. El objetivo general del trabajo, es evaluar la clasificación del tipo de desechos generados y proponer el diseño de un Biodigestor para el aprovechamiento de los residuos orgánicos que se generan en los centros de comida que funcionan en la Universidad José Antonio Páez. El tipo de investigación descriptiva está bajo la modalidad de proyecto factible y de investigación de campo.

Descriptor: Biodigestor, Biogás, Gas metano, Desechos, Reciclaje, U.J.A.P

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de energía constituye uno de los grandes retos de la comunidad internacional, no sólo comienzan a escanciar los modos de obtención, sino también los existentes resultan ser muy contaminantes e ineficientes. El gas metano, es uno de los componentes del gas natural, el cual se ha ganado una posición dominante dentro de la matriz energética mundial.

La combustión del metano es la más limpia de todos los combustibles, lo cual ayuda a mejorar la calidad del aire y del agua. En dicha combustión se produce menor cantidad de emisión de gases contaminantes, catalogados como Gases de Efecto Invernadero.

El gas metano puede ser obtenido mediante la descomposición de materia orgánica construyendo Biodigestores que además de cumplir la función generadora de gas, pueden ser utilizados para reducir las enormes cantidades de desechos sólidos producidos a nivel nacional. Se pueden diseñar y construir un sistema de producción eléctrica funcional a gas, de simple y de fácil mantenimiento.

Hoy en día se vive en una época ambientalista, donde se quiere buscar soluciones que ayuden a disminuir la contaminación ambiental y debida a esto, se buscan nuevas formas de energía que causen menor impacto en el ambiente. En Venezuela existe la problemática de la basura debido al colapso de los sitios de disposición final y al gran volumen, el cual se ha ido incrementando a lo largo de los años debido al crecimiento de población existente ya que sólo una persona genera 0.93 kg/día. Si se toma en cuenta los residuos sólidos municipales, es decir, los domiciliarios más otros residuos de origen comercial o que surgen de la limpieza de calles, parques y jardines según datos obtenidos de una evaluación regional llevada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por la Organización Panamericana

de Salud la (OPS) y por la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS).

En la Universidad José Antonio Páez, la problemática está condicionada por un gran volumen de desechos sólidos debido a la cantidad de personas que se encuentra en el campus y al poco espacio de los cuartos de basura los cuales no tienen la capacidad suficiente para almacenar este gran volumen, originando así, la necesidad de desarrollar diversas soluciones entre las cuales se propone el diseño de un Biodigestor Anaeróbico, para así disminuir los desechos orgánicos y considerar los beneficios que se puede obtener como el biogás, fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio y además tiene la ventaja de no producir olor desagradable al olfato humano. El biogás es recolectado y almacenado en unas bombonas de gas para luego ser aprovechado como combustible fósil en las cocinas y para producir energía eléctrica.

La Investigación está estructurada en cuatro capítulos, El Capítulo I, se contiene el desarrollo, la formulación, los objetivos, justificación, alcance y limitaciones del problema; en El Capítulo II se presentan algunas síntesis de investigaciones previas que están vinculadas con el trabajo, bases teóricas que están relacionadas con la investigación y los términos básicos, especializados y relevantes para la comprensión del trabajo, El Capítulo III soporta el nivel y tipo de investigación, así como el diseño, el tipo de población y muestra, técnicas e instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos, validez y confiabilidad, técnicas de análisis y fases metodológicas, El Capítulo IV contiene los resultados obtenidos de la investigación realizada, y se plantea la propuesta realizada para la universidad. El trabajo también consta de Introducción, Conclusión y Recomendaciones, como de sus respectivos Anexos, para así ayudar a comprender y sustentar el contenido de la misma.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años es evidente a nivel mundial la crisis energética y la acumulación descontrolada de todo tipo de desechos. En Venezuela esta realidad tiene diferentes causas, se manifiesta por simple indiferencia gubernamental donde no se presentan soluciones factibles para disminuir o minimizar este problema; es muy común, que las instituciones encargadas de recoger la basura, no asuman bien su papel, puesto que no es sólo en los centros urbanos y rurales, sino también las zonas turísticas e importantes del país, las cuales se encuentran afectadas por el mencionado problema, otras causas son el crecimiento no planificado de los centros poblados, la expansión acelerada de las ciudades, el cambio de uso de la tierra y la ocupación de espacios aptos para el desarrollo de proyectos de rellenos sanitarios o plantas procesadoras de desechos.

En todo municipio, se debe contar con equipos indispensables para la solución del problema de la basura, para garantizar la recolección y disposición de la misma. También se debe contar con adecuados sitios para su disposición final. Dicho espacio debe tener un adecuado mantenimiento y una mano de obra óptima para que no se afecte la salud de las personas. Es necesario adicionalmente extender la vida útil de dichos lugares, para ello es indispensable poner en marcha procesos de reciclaje, la clasificación desde la generación y la máxima utilización de los residuos, de tal manera que el volumen remanente producido sea el más eficaz. Un buen uso puede beneficiar a toda la comunidad, a partir de sus propios desechos.

El procedimiento más común para colocar los desechos son los vertederos a cielo abierto, opción que provoca riesgos ambientales, contaminación, generación de incendios, olores no agradables, reproducción de enfermedades, producción de grandes cantidades de lixiviados que contaminan las aguas, obtención y acumulación de gas metano, capaz de originar explosiones, además de provocar inestabilidad del terreno por la descomposición de materia orgánica.

Esta es una época, donde es necesario cuidar al planeta; por ello se exploran cada día nuevas fuentes de energía limpia. El Biodigestor donde se aprovecharía energía a partir del biogás (gas metano), se ha demostrado que es una buena alternativa, ya que sólo se necesitan grandes cantidades de basura y se solucionarían dos problemas, como son la producción de la energía y la disposición de basura, creando energía a partir de la basura de manera limpia, ecológica y sustentable, sin depender directamente de combustibles fósiles (carbón y petróleo).

Actualmente, las universidades, las asociaciones u organizaciones sin fines de lucro y los voluntariados, deben asumir su gran responsabilidad con el manejo del ambiente y de toda actividad que se realice, cómo esta impacta positivamente o negativamente al entorno, cuáles son los desechos que se generan, como se podría recuperar al máximo los residuos y cuál va a ser la disposición final.

En cuanto a estos problemas, la Universidad José Antonio Páez no escapa de esta realidad ya que el aumento del personal en esta institución ya sea alumnado, profesores, obreros, personal administrativo, genera un incremento de los volúmenes de desechos que en frecuentes oportunidades rebasan la capacidad de las áreas destinadas a la disposición temporal ocasionando mal olor y mal aspecto en las instalaciones, ya que el servicio que recolecta la basura pueden durar hasta una semana sin pasar.

La energía eléctrica tampoco escapa de este problema en dicha institución, ya que sólo un edificio consta de una planta eléctrica, mientras que el resto de los edificios quedan expuestos a la oscuridad y para colocarle una planta eléctrica por

cada edificio es un gasto muy grande y poco ecológico pudiendo aprovecharse otras fuentes para la obtención de energía de manera más natural.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo se pueden transformar los desechos orgánicos para que produzcan gas metano aprovechable como gas doméstico y para generar electricidad en la Universidad José Antonio Páez?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer el diseño de un Biodigestor para el aprovechamiento de los residuos orgánicos que se generan en el centro de comida que funciona en el Edificio 2 de la Universidad José Antonio Páez, de tal forma que en el campus universitario se contribuya a un adecuado manejo de dichos residuos.

1.3.2 Objetivo Especifico

- Diagnosticar la situación actual del centro de comida en cuanto al manejo de desechos orgánicos.
- Incentivar a la comunidad al manejo de los desechos orgánicos y su procesamiento por medio del Biodigestor Anaeróbico.
- Diseñar un Biodigestor de Flujo Semicontinuo Anaeróbico para la producción del gas metano por descomposición de materia orgánica proveniente del Edificio 2 para la Universidad José Antonio Páez.

1.4 Justificación del Problema

En la actualidad la exagerada acumulación de desechos es un problema de grandes proporciones en los centros urbanos en el país, responsable de numerosas enfermedades de la piel y de tipo respiratorio, del deterioro del paisaje además de elevar los niveles de contaminación ambiental; por otro lado la falta de fuentes energéticas, afectan considerablemente al país trayendo como consecuencia el daño de artefactos eléctricos y a su vez una disminución notable de la calidad de vida de los individuos, dentro del recinto de la Universidad José Antonio Páez esta situación

constituye un problema que se ha ido agravando a medida que crece la población universitaria.

Hoy en día el incremento de desechos es muy notable debido a que la población ha crecido cada vez más, tratar de eliminar la basura que se genera en una comunidad es algo problemático ya que la demanda es mayor a la oferta y las personas por esta razón desechan la basura en cualquier sitio de la ciudad. Para poder llegar a una buena solución a los problemas de disposición de la basura, tiene que cambiarse la cultura de la población e infundir conocimientos para la búsqueda de nuevas soluciones, para esta problemática y así lograr que esta quiera voluntariamente participar en estas soluciones. Se hace indispensable que intervengan las agencias gubernamentales para lograr una buena educación y sensibilización ambiental de la sociedad.

Por lo antes mencionado es cada vez más imperiosa la necesidad de generar opciones para contribuir con la solución sustentable de esta problemática, es preciso destacar que esta se trata de una propuesta novedosa dentro del recinto universitario, es decir, realizar un Biodigestor que produzca biogás, con el cual se podría generar gas doméstico y a su vez electricidad; lo cual disminuye el volumen de los desechos generados.

De poderse realizar la construcción de este sistema, constituiría un punto de partida para una nueva generación de opciones que generen electricidad así no depender solamente de los existentes. Esto con los correspondientes aportes de tipo social se podrá generar un ambiente más saludable y limpio por disminución de desechos sólidos, con un significativo aporte tecnológico y metodológico representado en un esquema la transformación de basura a gas natural aprovechable que incluso puede realizarse a gran escala considerando el enorme potencial de los Biodigestores.

1.5 Alcance

Este proyecto contemplara la generación de los residuos orgánicos en la Universidad José Antonio Páez considerando los volúmenes que se producen en el centro de comida del Edificio 2, y la propuesta del diseño del biodigestor por proceso anaeróbico, la cual estará sujeta a los resultados obtenidos en cuanto a dimensiones para así lograr el fin propuesto de la investigación el cual es la producción de biogás por medio de desechos orgánicos.

1.6 Limitaciones

En la investigación se pueden presentar algunos obstáculos que deben ser identificados como oportunidades de poder mejorar, algunos de estos son, la falta de información y experiencias para documentar los diseños y la implementación de la propuesta según la cantidad que se obtenga de desechos orgánicos en la universidad se obtendrá la posible cantidad de biogás que se podrá suministrar. Finalmente la ejecución de la propuesta queda en manos de las autoridades correspondientes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Sandrea, Y., Sánchez, W. Silva, J., Bracho, J., Pitre, R., Chaparro, C. y Sánchez, Manuel. (2012) En un proyecto de investigación titulado **“Elaboración de un Biodigestor como alternativa agroecológica en un plan de abastecimiento familiar en la finca “Los 5 Hermanos” del municipio Jesús Enrique Lossada”** realizada en el Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo, se fundamenta en la elaboración de un Biodigestor para el sector de El Sur, con la finalidad de una alternativa agroecológica que permite sin duda alguna el abastecimiento de una fuente de gas o energía Indispensable en la finca Los 5 Hermanos. Para lograr esta propuesta se estableció un objetivo general que permite trabajar en función a lo que espera la comunidad, se muestra un personal de alto interés por establecer este biodigestor, motivado por el bienestar para la comunidad en materia agroecológica, lo que permite una alta aceptación en la creación del proyecto para formar los lineamientos que permitan constituir un proyecto sólido con alto profesionalismo y procesos debidamente ejecutados.

La creación de un Biodigestor tiene como propósito infundir en las comunidades conciencia sobre el efecto nocivo que pueden tener los desechos sobre el medio ambiente buscando la manera de fomentar el desarrollo aprovechando estos para construir herramientas alternativas en la producción de energía, tomando en cuenta que ayuda a minimizar los costos ya que con el producto final del Biodigestor se reduce el consumo de energía y el gasto en lo que concierne a compras de gas y fertilizantes.

López D. (2013) en su tesis de grado titulada **“Estudio para el aprovechamiento de gas combustible a partir de rellenos sanitarios”** realizado en la Universidad José Antonio Páez, en ese trabajo se plantea como utilizar la basura para beneficio de la población, en la búsqueda de solución de otro problema que también afecta a nivel mundial que es la creciente demanda de energía. Con el aumento de la población se necesita más energía eléctrica para abastecer la demanda de todas las personas. Por esta razón las industrias deben generar más electricidad la cual produce a su vez más contaminación y afecta el ambiente. Hoy en día se vive en una época ambientalista, donde se quieren buscar soluciones que ayuden a disminuir la contaminación ambiental y debido a esto, se buscan nuevas formas de energía que causen menor impacto en el ambiente.

Debido a estas razones se realiza llevando la basura a un sitio idóneo de disposición, donde se pueda aprovechar la misma; este sitio de disposición es un relleno sanitario, donde toda la basura mediante procesos de biodegradación, se convierte en gas metano y lixiviados. Aquí es donde este proyecto influye ya que diseñamos la idea de extraer este gas metano eficientemente para usarlo como generador de electricidad.

La generación del gas metano depende del volumen de basura producida y dispuesta en el relleno. La inversión para la construcción de un relleno sanitario puede recuperarse en un periodo de 10 años y el estimado de vida útil del relleno sanitario es aproximadamente de 20 años; es decir: después de los primeros 10 años el relleno sanitario se vuelve altamente productivo para el ente que lo administra. El gas metano que proviene del relleno sanitario, se recolecta por un sistema de gasoductos y es llevado a una planta de purificación de este gas, para luego generar la electricidad a partir del mismo.

Alvarado, R. y Olivieri, R. (2015), en su tesis de grado titulada **“Clasificación de los desechos y propuesta de diseño del sistema de disposición primario de la Universidad José Antonio Páez”** en la Universidad José Antonio Páez, en su investigación se basó en evaluar la clasificación de los desechos generados y

proponer el posible diseño del sistema de disposición primario de la Universidad, de tal forma que el manejo de la basura en el campus universitario contribuya a una adecuada disposición final y un verdadero aprovechamiento de los residuos, bajando los volúmenes de residuos en los cuartos de basura.

La disposición de la residuos en la actualidad, está muy comprometida, la manera como llegan los desechos a los vertederos y el poco espacio que hay en ellos, hace que las autoridades administrativas busquen formas en las que los creadores realicen un trabajo previo en los cuartos de basura, desde allí se debería clasificar para reciclar los que pueden entrar nuevamente en la cadena de producción y solo trasladar aquellos que ya son realmente desechos.

La escasez de materia prima así como la protección al medio ambiente son razones para inclinarse por el reciclado, sin embargo de toda técnica de aprovechamiento siempre va quedar algunos desechos, y por ende debe tratarse con una técnica de eliminación de bajo impacto ambiental. También es cierto que las técnicas de aprovechamiento siempre son más costosas ya que requieren de una tecnología más sofisticada y de mayores instalaciones, y que la cantidad de basura que se genera casi siempre, no da tiempo a reciclarla sin evitar que se acumule.

2.2 Bases Teóricas

Los planteamientos teóricos que se muestran a continuación, permiten fundamentar los conocimientos necesarios para crear una conciencia ambientalista, motivar a la ejecución de soluciones y al control de los procesos, concernientes al tema del Biodigestor, manejo de residuos, su clasificación y aprovechamiento.

2.2.1 Residuos Sólidos

La diferenciación entre desecho o basura y residuo es fundamental para el progreso en materia ambiental de una nación; en países con poco desarrollo se generan altas cantidades de desechos diariamente, mientras que en países en vía de desarrollo o desarrollados un alto porcentaje se utiliza como residuos; para la guía Manejo de Residuos Sólidos, elaborada por SNV y Hondulpama (2011), los residuos son

Aquellos objetos que han dejado de desempeñar la función para la cual fueron creados, se considera que ya no sirven porque no cumplen su propósito original, y por tal motivo, son eliminados. Sin embargo, éstos pueden ser aprovechados si se manejan de forma adecuada. Ahora bien, un desecho o basura es un producto resultado de las actividades humanas que ya no tiene valor ni utilidad, y es llevado directamente a un botadero. (p.8).

Hay objetos que en un determinado momento se pueden categorizar como desechos, pero bien manejados y clasificándose desde la generación, este material puede ser reutilizado, reciclado o aprovechado de alguna forma, tal que su vida útil sea alargada y su impacto ambiental se disminuya.

2.2.2 Clasificación de los Residuos Sólidos

Es importante concebir la clasificación de los residuos sólidos, como lo indica Betancourt y Pichs (2004)

Desechos sólidos orgánicos se les denomina a los desechos biodegradables que son putrescibles, Desechos sólidos inorgánicos, considerados genéricamente como "inertes", en el sentido que su degradación no aporta elementos perjudiciales al medio ambiente, aunque su dispersión degrada el valor estético del mismo y puede ocasionar accidentes al personal, Desechos peligrosos: todas aquellas sustancias, materiales u objetos generados por cualquier actividad que, por sus características físicas, biológicas o químicas, puedan representar un peligro para el medio ambiente y la salud humana. (p.5).

Esta forma de agrupar los desechos sólidos permite hacer insistencia, en que la separación de los desechos desde la fuente, impacta de forma positiva en la reducción de la cantidad de los residuos, en el costo asociado a la manipulación o manejo y en el impacto ambiental, sabiendo que hay distintos tipos y que se agrupan de diferentes maneras:

- Según su estado físico en: Desechos Sólidos, Líquidos y Gaseosos.
- Según su procedencia se clasifican en: Industriales: provienen de los procesos de producción, transformación, fabricación, utilización, consumo o limpieza; Agrícolas: son los que proceden de la agricultura, la ganadería, la pesca, las explotaciones forestales o la industria alimenticia. Sanitarios y/o patológicos: son aquellos relacionados con el área de salud, están compuestos por residuos

generados como resultado del tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales; Residuos sólidos urbanos: son los que están compuestos por basura doméstica.

- Según su peligrosidad se clasifican en: Residuos tóxicos y peligrosos: son los que por su composición química u otras características requieren tratamiento especial; Radioactivos: materiales que emiten radiactividad. Inertes: Son escombros y materiales similares; en general, no peligrosos para el ambiente, aunque algunos procedentes de la minería pueden contener elementos tóxicos.

El manejo inadecuado de estos materiales es el principal problema en el ámbito doméstico e industrial porque contaminan el ambiente. Por otra parte, con un detallado proceso de recolección, entendiéndose según (Ramos, Carmona, Cano y Semadeni, 2010) como, “la acción de transferir los residuos sólidos desde la fuente generadoras hasta el vehículo recolector”, por ende desde donde se generen los residuos, se deben clasificar para aminorar los problemas de la disposición final.

Hay diversos factores y causas que influye en la composición de los residuos: como lo son: El clima, en países cálidos se genera más desechos orgánicos que en los países fríos, quienes consumen alimentos enlatados y envases de larga duración; características de la población, nivel económico y tecnológico de la población, actividad económica principal, tamaño y ocupación de los miembros de la familia, estatus social. Los hábitos de consumo, debido a que se genera productos que facilitan y dan comodidad en la vida diaria.

2.2.3 Aprovechamiento de los residuos orgánicos

El aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable.

Aprovechables son aquellos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente. De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables deben tener en cuenta lo siguiente:

- El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente.
- Se trata de materia prima con valor comercial, en consecuencia sujeta a las leyes del mercado y consideradas como insumo.
- Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.
- La definición de residuo aprovechable se deberá hacer por las autoridades ambientales y municipales en sus respectivos Planes de Gestión de Residuos Sólidos, que deberán formular.
- La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el residuo, en el cual están comprometidos los generadores de las materias primas y de los productos finales.
- Deben ser objeto del establecimiento de incentivos de toda índole, en especial económicos y tributarios. Teniendo en cuenta que el análisis del impacto de un producto o proceso debe ser integral, los incentivos que se otorguen deben considerar el proceso productivo en su integridad, de modo que no se

distorsionen los objetivos de la gestión ambiental que consisten no sólo el disminuir un impacto ambiental específico post-consumo, sino todo los que se genera durante el proceso productivo.

- La población que actualmente está realizando las actividades de recuperación debe tener reconocimiento y espacio para su trabajo.

2.2.4 Jerarquización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Los proyectos y/o actividades de aprovechamiento, forman parte del proceso de jerarquización de los residuos sólidos, que comprende en primer orden prevenir la generación de residuos sólidos, en segundo caso aprovechar al máximo el potencial de los recursos contenidos en los mismos y en tercer caso después de haber implementado los procesos anteriores, disponer en rellenos sanitarios sólo aquellos residuos (basura) que no pudieron ser aprovechados.

Algunas de las acciones que todos pueden hacer para disminuir la problemática de los residuos (ver figura 1).



Figura 1 Jerarquización Residuos Sólidos
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2013)

2.2.5 Selección en Origen de los Residuos Sólidos

Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente en una clasificación sectorial. Para un buen aprovechamiento de los residuos es necesario que exista selección en origen de estos. (ver figura 2)

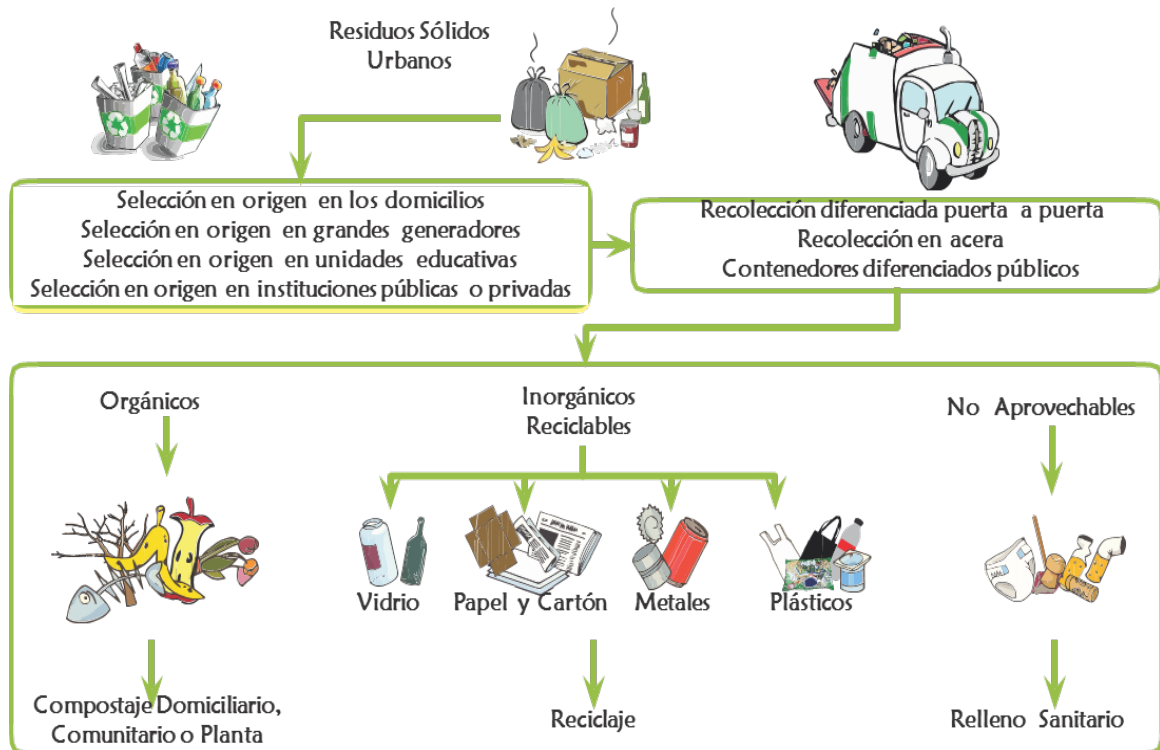


Figura 2 Origen de los Residuos Sólidos

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2013)

2.2.6 Efectos de los Residuos Sólidos Orgánicos en Rellenos Sanitarios y Botaderos

Los Residuos Sólidos Orgánicos dispuestos en los rellenos sanitarios y botaderos conllevan una serie de problemas de tipo técnico, ambiental y económico que afectan a la operación de los mismos y a su entorno. Algunos problemas que pueden presentarse son:

- Generan lixiviados: Su descomposición genera líquidos (lixiviados) que de no ser captados y tratados pueden llegar a las aguas superficiales o infiltrarse a las aguas subterráneas.
- Generan biogás: Su descomposición anaerobia genera gas metano y otros gases considerados de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global.

- Disminuyen la vida útil del relleno sanitario y dificultan su operación. Por su grado de humedad y composición se requiere de mayor cantidad de material de cobertura.
- Generan Olores: Su descomposición provoca emanación de olores que deben ser mitigados.

2.2.7 Beneficios del aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos

Aprovechar los residuos sólidos orgánicos genera beneficios económicos y ambientales:

- ❖ Beneficios económicos:
 - Prolongar la vida útil del relleno sanitario municipal.
 - Venta o uso del compost o humus para fines municipales (viveros, protección de cuencas, reforestación de rellenos clausurados).
 - Reemplazo de fertilizantes químicos por un abono orgánico más económico.
- ❖ Beneficios ecológicos o ambientales:
 - Menor generación de lixiviados y biogás.
 - Disminución del volumen de residuos sólidos que se van al relleno.
 - Compost y Humus como mejoradores de suelo y fertilizantes naturales sin problemas de carga química en los suelos.
- ❖ Formas de aprovechar los Residuos Sólidos Orgánicos:
 - Compostaje: es la descomposición controlada de residuos orgánicos mediante microorganismos (hongos y bacterias). Se obtiene “compost”, abono orgánico, que sirve para fines agrícolas, jardinería y reforestación.
 - Biodigestión: Es la degradación anaerobia de los Residuos Sólidos Orgánicos con la finalidad de obtener biogás usado como combustible. Se obtiene también un lodo residual que mediante compostaje tiene un valor de fertilizante rico y un fertilizante foliar.

- Alimento para Animales: Es el uso de los residuos orgánicos seleccionados como alimento de los animales de granja.
- Lombricultura: Es la descomposición de residuos orgánicos por parte de lombrices del tipo californianas. Se obtiene humus, abono orgánico rico en nutrientes para fines agrícolas o de jardinería.

2.2.8 Ciclo del Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos

La temática “manejo adecuado de residuos sólidos y procesos de reciclaje” busca generar una conciencia de reducción y consumo responsable, mostrando que la elevada generación de residuos sólidos, comúnmente conocidos como basura y su manejo inadecuado son uno de los grandes problemas ambientales y de salud, los cuales se han acentuado en los últimos años debido al aumento de la población y a los patrones de producción y consumo, mostrando algunas alternativas y usos que se pueden dar a materiales que comúnmente son desechados como basura (ver figura 3).



Figura 3 Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2013)

2.2.9 Proceso para la Caracterización de los Desechos

El proceso de monitoreo y caracterización es una herramienta fundamental en las fases de inicio o de diagnóstico situacional de un plan de gestión ambiental para el manejo integral sostenible de los residuos y desechos sólidos, sirviendo como base para abordar con mayor precisión las etapas siguientes de su gerencia, como tal: planificación y estrategias, desarrollo e implantación, evaluación y seguimiento, garantía para su cumplimiento y desarrollo. Su norte es estimar la cantidad promedio (Kg), volumen (m³) y densidad (Kg/m³) de los residuos y desechos sólidos para determinar los componentes individuales: orgánicos e inorgánicos, presentes en los mismos, según la composición porcentual que señala Tchobanoglous et al. (1994), como un:

“Término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes por peso” (p.55).

De igual forma, el proceso permite el cálculo de la tasa de generación por cápita, es decir, los kilogramos diarios que genera una persona en residuos y desechos sólidos en un área determinada en estudio, la humedad relativa, entre otros factores de gran relevancia para lograr una gestión ambiental eficiente, en su ámbito territorial de aplicación.

2.2.10 Componentes del Proceso de Digestión Anaeróbica

- ❖ Tuberías y válvulas
- ❖ El digestor: Los tanques de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del tanque está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del efluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

- Entrada del influente: Normalmente, el influente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.
 - Salida del efluente: En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos), para reenviarlo a cabecera de la E.D.A.R. o a las eras de secado, si hay espacio disponible.
 - Extracción de lodos: Las tuberías de extracción de fangos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El fango se extrae por el centro del tanque. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el fango del digestor a un sistema de evacuación de fangos. Estas tuberías transportan también fangos de reserva desde el digestor secundario al primario y recirculan el fango del fondo para remover y romper la costra.
- ❖ Sistema de gas: El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica destruida, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases. El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:
- Cúpula de gas.

- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
 - Extintor.
 - Válvulas térmicas.
 - Separadores de sedimentos.
 - Purgadores de condensado.
 - Medidores de gas.
 - Manómetros.
 - Reguladores de presión.
 - Almacenamiento del gas.
 - Quemador de los gases sobrantes.
- ❖ Muestreador: Consiste en una tubería de 8 o 10 cm de diámetro con una tapa de cierre con bisagras que penetra en el tanque de digestión, a través de la zona de gas, y que está siempre sumergida unos 30 cm en el fango del digestor. Esto permite la toma de muestras del fango del digestor, sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor.
- ❖ Mezclado del digestor: El mezclado es muy importante en un digestor. Un buen equipo mezclador acelera en gran manera la digestión, porque consigue los siguientes objetivos:
- Inoculación (introducción de un cultivo biológico) inmediata del influente con microorganismos.
 - Prevención de la formación de costras.
 - Mantenimiento de la homogeneidad del contenido del tanque, es decir, distribución de alimentos, organismos, alcalinidad, calor y productos bacterianos de desecho.
 - Utilización máxima del contenido total del digestor y disminución de sólidos inertes en el fondo.

- En los tanques de digestión la agitación o mezcla puede conseguirse bien por recirculación de gas bien por sistemas mecánicos girando a baja velocidad.

2.2.11 Historia del Biodigestor

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1.600, identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica (ver figura 4).

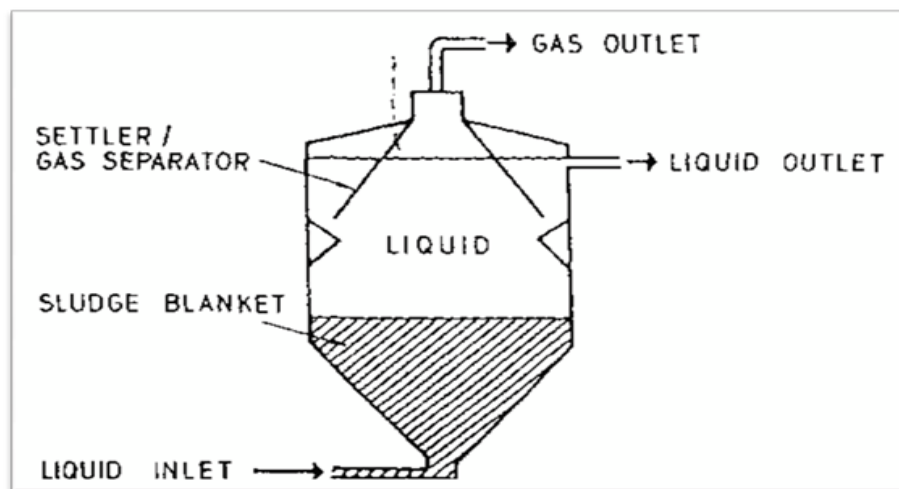


Figura 4 Prototipo de Biodigestor.

Fuente: <http://www.crisisenergetica.org>

En el año 1890 se construye el primer Biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época.

En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los Biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década de los años 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada, obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania, cuyas plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución.

Habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, a lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes, siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m³ de capacidad), trabajan a temperaturas hemofílicas (20°C a 40°C), poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración, que

brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

2.2.12 Origen del Biogás

La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso. En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticas, textiles, etc.

En un primer momento, el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como el estiércol. De esta manera, el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según los expertos, esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento, que en algunos casos pasan directamente por el vertido incontrolado. El biogás también tiene sus inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico que es necesario eliminar. Por otra parte, si el residuo queda almacenado en condiciones de ausencia de aire, como ocurre en los estercoleros, se formaría metano que escaparía a la atmósfera, produciendo efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono sin que se aproveche su energía.

En este sentido, un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través del biogás generado. Estos investigadores ya han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del Gobierno de Cantabria para estudiar cómo llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogás y su posterior utilización es cuestión de tiempo.

El biogás es un producto del metabolismo de las bacterias metano génicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno.

Durante el proceso de descomposición anaeróbica, se puede obtener entre otros, etanol, metanol y gas metano en cantidades apreciables, además de algunos compuestos orgánicos que son transformados a minerales, que pueden ser utilizados fácilmente como fertilizantes para los cultivos. La producción de biogás va a depender, principalmente, de los materiales utilizados, de la temperatura y del tiempo de descomposición (ver figura 5).

❖ Formación del Gas Metano: Los orígenes principales de metano son:

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

- Las bacterias en plantaciones de arroz: 12%

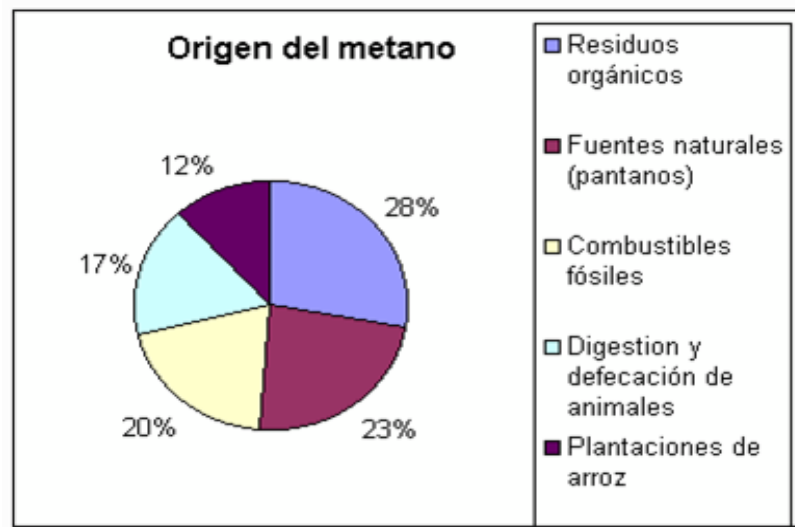


Figura 5 Origen del Metano
Fuente: Microsoft Encarta (2007)

2.2.13 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-no se incluyen cítricos ya que acidifican, entre otros) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

El fenómeno de indigestible ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH₄) llamada biogás, que es utilizado como combustible. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizante s) que

pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

❖ **Clases de Biodigestor**

1. 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.
2. Biodigestores de Flujo Semicontinuo: La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches 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 movilizada de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua).
3. Biodigestores de Flujo Continuo: Se usan generalmente para tratamiento de aguas residuales, tienden a ser grandes de corte industrial, con sistemas comerciales para el control y gestión del proceso. La producción de Biogás es mucho mayor. Pueden ser:
 - Sistema de desplazamiento horizontal (movimiento por flujo pistón, gravedad).
 - Sistema de tanques múltiples.
 - Sistema de tanque vertical.

Los Biodigestores continuos sirven para purificar el agua contaminada por diferentes fosas, existen tres clases de Biodigestores de flujo continuo:

- De cúpula fija (chino).

- De cúpula móvil o flotante (hindú).
- De salchicha, tubular, Taiwan, CIPAV o Biodigestores familiares de bajo costo.

2.2.14 Biogás

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

❖ Componentes del biogás: Los principales componentes del BIOGAS son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂). Aunque la composición varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación:

- Metano (CH₄): 40 – 70% del volumen
- Dióxido de Carbono (CO₂): 30 – 60 del volumen
- Hidrogeno (H₂): 0 – 1% del volumen
- Nitrógeno
- Sulfuro de Hidrogeno (H₂S): 0 – 3% del volumen
- Ácido Sulfhídrico

Descomposición Anaeróbica del Biogás

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El resultado es una mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 50 % y un 70% en volumen, y dióxido de carbono (CO₂), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).

El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 megajulios por metro cúbico (MJ/m³). Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para ese uso.

2.2.15 Fuentes de Energía Alternativas

Son aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas. No obstante, no existe consenso respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores: en las definiciones más restrictivas, energía alternativa sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran energías alternativas a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo); en estas definiciones, además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica.

2.2.16 Proceso de Biodegradación

La materia orgánica del suelo se compone de vegetales, animales, microorganismos, sus restos, y la materia resultante de su degradación. Normalmente representa del 1 al 6% en peso. Es de gran importancia por su influencia en la estructura, en la capacidad de retención de agua y nutrientes, y en los efectos bioquímicos de sus moléculas sobre los vegetales.

De propiedades físicas y químicas diferentes a la de la materia orgánica poco alterada, el humus puede catalogarse como el espectro de materia orgánica comprendido entre la que ha sufrido una primera acción de los microorganismos y la que se mineraliza. Está formado por dos fracciones, la primera continúa el ciclo de incorporaciones a las estructuras microbianas hasta su mineralización, y una segunda formada por moléculas de difícil degradación (algunos polisacáridos, proteínas insolubilizadas, quitina, etc.). Se puede definir el humus como una mezcla de sustancias macromoleculares con grupos ionizables, principalmente ácidos, pero también alcohólicos y amínicos. Por ello tiene propiedades secuestradoras y

complejas que determinan tanto la formación del complejo arcilloso-húmico como sus propiedades.

❖ **Ventajas en la utilización de biogás:**

- Su producción es renovable.
- Su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles.
- Cumple con los requisitos de la EPA (Environmental Protection Agency) para los combustibles alternativos.
- Puede emplearse puro o combinado con los combustibles fósiles en cualquier proporción. No contiene azufre y por tanto no genera emanación de este elemento, las cuales son responsables de las lluvias ácidas.
- Mejor combustión, que reduce el humo visible del arranque en un 30%.
- Cualquiera de sus mezclas reduce en proporción equivalente a su contenido, las emanaciones de CO₂ y partículas e hidrocarburos aromáticos. Dichas reducciones están en el orden del 15% para los hidrocarburos, del 18% para las partículas en suspensión, del 10% para el óxido de carbono y del 45% para el dióxido de carbono. Estos indicadores se mejoran notablemente si se adiciona un catalizador.
- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.
- Volcados al medio ambiente se degradan más rápidamente que los petrocombustibles.
- Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo así las posibilidades de producir cáncer.

- Es menos irritante para la epidermis humana.
- Actúa como lubricante de los motores prolongando su vida útil.
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición más elevado.
- El biodiesel puro posee un punto de ignición de 148°C contra los escasos 51°C del gasoil.
- Por tanto, podemos indicar que sus ventajas son:
- Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de biocarburantes contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Concretamente, el biodiesel no emite dióxido de azufre, lo cual ayuda a prevenir la lluvia ácida, y disminuye la concentración de partículas en suspensión emitidas, de metales pesados, de monóxido de carbono, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de compuestos orgánicos volátiles. El bioetanol, en comparación con la gasolina, reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.
- Además, al ser fácilmente biodegradables, los biocarburantes no inciden negativamente en la contaminación de suelos. En última instancia, ayudan a la eliminación de residuos en los casos en que los mismos se utilizan como materia prima en la fabricación de biocarburantes (por ejemplo, los aceites usados en la fabricación de biodiesel).
- Desde el punto de vista energético, los biocarburantes constituyen una fuente energética renovable y limpia. Además, su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético.
- Desde el punto de vista socioeconómico, los biocarburantes constituyen una alternativa para aquellas tierras agrícolas afectas a la Política

Agrícola Común (PAC). De esta forma, se fijaría la población en el ámbito rural, manteniendo los niveles de trabajo y renta, y fomentando la creación de diferentes industrias agrarias.

- La captación de gases de vertedero es interesante no solo desde el punto de vista energético sino también desde un punto de vista medioambiental, ya que el metano es uno de los gases que favorecen el efecto invernadero con una acción 21 veces superior al CO₂.
- La reducción de las emisiones de metano a la atmósfera es uno de los aspectos más considerados en las numerosas cumbres mundiales organizadas para tratar de minimizar el efecto invernadero en el planeta.
- Otra repercusión es la obtención de energía renovable al disponer de un recurso energético alternativo a los hidrocarburos.
- Además, aprovechar el gas evita los malos olores provocados por el ácido sulfhídrico que contiene. Por eso, algunos vertederos simplemente queman biogás en antorchas sin aprovecharlo como fuente de energía, en un intento de minimizar su impacto negativo sobre el medio ambiente.

❖ **Desventajas en la utilización de biogás**

1. Factibilidad económica:

- Alta dependencia del costo de las materias primas.
- Generación de un coproducto (glicerina) cuya purificación a grado técnico solo es viable para grandes producciones.

2. Aspectos técnicos:

- Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C).
- Escasa estabilidad oxidativa (vida útil / período máximo de almacenamiento inferior a seis meses).
- Poder solvente.

- Es incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (eventual sustitución de algunos componentes del motor: mangueras, juntas y similares).
- Cuando se lo carga en tanques sucios por depósitos provenientes del gasoil, al “limpiar” dichos depósitos por disolución parcial, puede terminar obstruyendo las líneas de combustible.

2.2.17 Procedimientos Estadísticos para los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos

En los países de la región de América Latina y del Caribe, el estudio de caracterización de los desechos se rigen bajo la metodología estadística, diseñada por el doctor Kunitoshi Sakurai creada en 1982. La clasificación de los residuos sólidos, está basado en procedimiento estadístico a fin de determinar una muestra representativa de la población; El proceso se inicia con la determinación de la muestra, para (Cantanhede, Sandoval, Caycho y Monge, 2005), la población se define como “Todas las viviendas y establecimientos comerciales del distrito bajo estudio”; luego se divide en estratos y se realiza el estudio per cápita de la cantidad de desechos que se genera por persona por día, según (Cantanhede, Sandoval, Caycho y Monge, 2005), la determinación per cápita diaria de los residuos, está establecido como “El peso total de las bolsas (Wt) entre el número total de personas (Nt) para obtener la generación per cápita diaria promedio de las viviendas muestreadas (kg/hab/día)”, para conocer el tamaño de la muestra se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

Para este procedimiento estadístico, esta ecuación es sólo permitida cuando se conoce la cantidad de personas y se asume una varianza, los parámetros significan lo siguiente:

- n = Tamaño de la muestra
- N = Tamaño de la población

- X_i = Generación per capital
- $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$ Varianza de la Población
- $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$ Media de la población
- $1 - \alpha$ = Nivel de Confianza
- $Z_{\alpha/2}$ = Coeficiente de Confianza
- E = Error permisible

Una vez definida la muestra se plantea una serie de pasos que permiten hacer la toma de la información, definiendo la población a muestrear, el lugar donde se acumularán los desechos, los días de recaudación y el personal encargado de la búsqueda de los desechos, se entregan los equipos previamente identificados para el acopio de los desechos, en consecuencia se entregan las bolsas vacías y se define la hora del traslado de los desechos al día siguiente, el cual debe intentarse hacer en horas similares.

Finalmente se determina la composición física de los desechos, por medio del sucesivo procedimiento:

1. Utilice la muestra de un día; los residuos se colocan en una zona pavimentada o sobre un plástico grande a fin de no agregar tierra a los residuos.
2. Rompa las bolsas y vierta el desecho formando un montón. Con la finalidad de homogenizar la muestra, troce los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño que resulte manipulable; puede ser 15 cm o menos.
3. Divida el montón en cuatro partes (método de cuarteo) y escoja las dos partes opuestas (lados sombreados de la figura adjunta) para formar un nuevo montón más pequeño.
4. Vuelva a mezclar la muestra menor y divida en cuatro partes nuevamente, luego escoja dos opuestas y forme otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50kg de basura o menos.

5. Separe los componentes del último montón y haga la clasificación por: papel y cartón, anímate, restos de alimentos plásticos, aluminio.
6. Clasifique los componentes en recipientes pequeños de 50 litros.
7. Pese los recipientes pequeños vacíos en una balanza de menos de 10 kg antes de empezar la clasificación.
8. Pese los recipientes con los diferentes componentes una vez concluida la clasificación y por diferencia determine el peso de cada uno de los componentes.
9. Calcule el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (W_t) y el peso de cada componente (P_i): $P_i \text{ Porcentaje (\%)} = \frac{P_i}{W_t} \times 100$
10. Repita el procedimiento durante los días que dure el muestreo de los residuos. Se sugiere eliminar la muestra del primer día porque la experiencia ha demostrado que la basura del primer día no resulta representativa, ya sea porque se entrega demasiada cantidad de residuos o muy poca, esto distorsiona los promedios.

Este es el procedimiento realizado para poder obtener el cuarteo de los desechos y poder conseguir el porcentaje de desechos orgánicos que necesitamos a la hora de diseñar el Biodigestor según, fuente (Alvarado, R; y Oliveri, R; 2015). La población a encuestar se calcula con un procedimiento estadístico la cual nos ayuda a diagnosticar la situación actual en cuanto a lo que las personas observan sobre el manejo de desechos orgánicos dentro del campus universitario (ver figura 6)

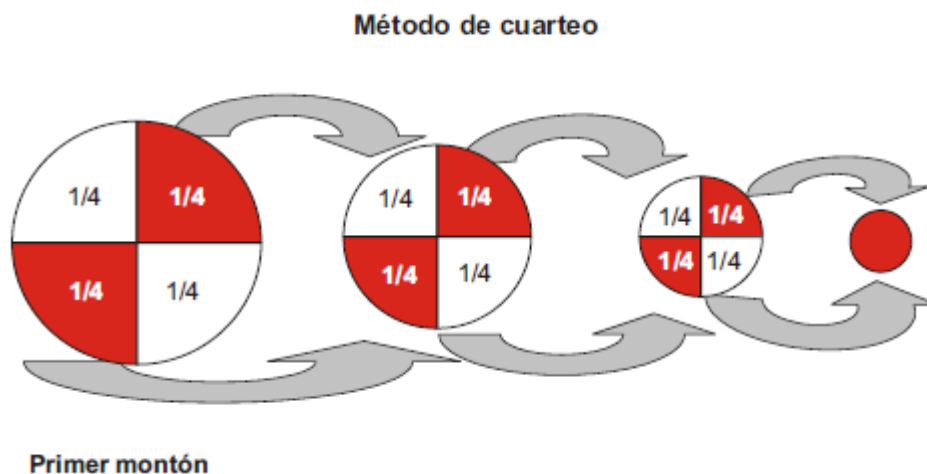


Figura 6 Método de Cuarteo
Fuente: Alvarado, Oliveri (2015)

2.3 Bases Legales

Política Ambiental del Estado

La República Bolivariana de Venezuela, a través de su Constitución Nacional, establece en su Capítulo IX de los derechos ambientales, el derecho individual y colectivo de las personas a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado, siendo obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos. A continuación se citan aquellos instrumentos legales relacionados con el tema objeto de esta investigación:

A través de la Ley Orgánica del Ambiente, de 22 diciembre de 2006, se establecen las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un

ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Así mismo, en su Artículo 80° y el Título VII, Capítulo II, se establecen las actividades capaces de degradar el ambiente y los objetivos de la realización de la Evaluación de Impacto Ambiental.

La Ley Penal del Ambiente, de 2 mayo de 2012, determina como delito, los hechos atentatorios contra los recursos naturales y el ambiente e impone las sanciones penales. Asimismo, determina las medidas precautelarias, de restitución y de reparación a que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales.

La Ley de Gestión Integral de la Basura del 30 de diciembre de 2010, establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura. Las personas naturales y jurídicas concurrirán, dentro de los límites de su responsabilidad, en el manejo adecuado de residuos y desechos sólidos, a los fines de:

1. Realizar el manejo en forma adecuada, efectiva y eficaz, conforme a la normativa técnica y planes de gestión aplicables.
2. Prevenir y reducir la generación de residuos y desechos sólidos, especialmente cuando se trate de la fabricación, distribución y uso de productos de consumo masivo inmediato.
3. Evitar riesgos a la salud o al ambiente por el manejo inadecuado de residuos y desechos sólidos.
4. Valorizar los residuos sólidos generados, mediante programas que garanticen su recuperación, reutilización, reciclaje, transformación o cualquier otra acción dirigida a obtener materiales aprovechables o energía.
5. Desarrollar y aplicar tecnologías ambientalmente sustentadas que eviten o minimicen la generación de residuos y desechos sólidos.

El Decreto 2.216 de 23 abril de 1992, establece las Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos, regulando las operaciones de manejo de los

desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial, o de cualquier otra naturaleza no peligrosa, con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente. Incluye disposiciones sobre:

- Almacenamiento
- Recolección
- Limpieza urbana
- Transferencia
- Transporte
- Tratamiento o procesamiento
- Reciclaje, reutilización y aprovechamiento
- Disposición Final
- Selección del sitio
- Operación

La Ley de Aguas, de 2 enero de 2007, establece las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas como elemento indispensable para la vida el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país y es de carácter estratégico e interés de Estado.

Incluye disposiciones sobre:

- Conservación y Aprovechamiento Sustentable de las Aguas.
- Protección, uso y recuperación de las agua.
- Control y manejo de los cuerpos de agua
- Prevención y Control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes.
- Regiones y Cuencas Hidrográficas e Hidrogeológicas.
- Organización Institucional para la Gestión de las Aguas.
- Autoridades de las aguas.
- Instrumentos de Gestión.
- Planes de gestión integral de las aguas.
- Registro Nacional da Usuaris y Usuaris de los Fuentes de las Aguas.

- Fondo Nacional para la Gestión Integral de las aguas.

También, el Decreto 883, de 18 diciembre de 1995, donde se establecen las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos: Por su parte, el Decreto N° 1.400, de 10 julio de 1996, establece las Normas sobre Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas.

Efluentes Gaseosos: El Decreto 638, de 26 abril de 1995, establece las Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica, destinadas al mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles capaces de generar emisiones gaseosas y partículas.

- Límites de calidad del aire
- Control de las fuentes fijas de contaminación atmosférica
- Clasificación de las fuentes
- Límites de emisión
- Control de las emisiones por fuentes móviles
- Seguimiento y Control
- Régimen de Adecuación
- Fuentes Móviles

Decreto N° 2673, de 19 de agosto de 1998 dictan las Normas sobre emisiones de fuentes móviles. Este decreto tiene por objeto establecer las normas para el control de las emisiones de escape y de las emisiones evaporativas provenientes de las fuentes móviles. El ámbito de aplicación de este decreto comprende las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas y que utilizan como combustible gasolina y Diesel.

El Decreto N° 1.257, de 13 marzo de 1996, establece las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, en dicha norma se describe:

- Procedimiento Ordinario de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.
- Procedimientos para Actividades Mineras y de Hidrocarburos
- Procedimiento en Áreas Urbanas y donde las Autorizaciones y Aprobaciones para la Ocupación del Territorio son otorgadas por organismos distintos al Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
- Participación Ciudadana
- Supervisión, Vigilancia y Control Ambiental
- Consultores Ambientales

2.4 Definición de Términos Básicos

Almacenamiento: Es la acción de retener temporalmente los residuos sólidos, en tanto se recolectan para su posterior transporte a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

Biodegradabilidad: Sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos en un período de tiempo relativamente corto.

Biodigestor: Es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Biogás: Es un gas combustible que se genera en medios naturales, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos.

Disposición final: Es el confinamiento permanente de los residuos sólidos en sitios y condiciones adecuadas, para evitar daños a los ecosistemas y propiciar su adecuada estabilización.

Fase Aeróbicas: Es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

Fases Anaeróbicas: Es aquella fase en la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno.

Generación: Es la acción de producir una cierta cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, en un cierto intervalo de tiempo.

Generador: Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera desechos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considerará como generador al poseedor de residuos sólidos peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección.

Lixiviado: Líquido maloliente de color negro proveniente de la descomposición o putrefacción natural de la basura, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Reciclaje: Proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

Recolección: Es la acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos dentro de los equipos destinados a conducirlos a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

Recuperación: Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, recogida o cualquier otra forma de retirar de los residuos sólidos algunos de sus componentes para su reciclaje o reúso.

Rellenos sanitarios: Es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública.

Vertedero: Son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura, sin consideraciones medioambientales, es elegido por algún grupo humano para depositar sus desechos sólidos. Son grave fuente de contaminación, enfermedades y otros problemas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de Investigación

El estudio se asienta en la investigación descriptiva, que según (Arias, F; 1999, p. 20) “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o un conjunto de conocimientos adquiridos para establecer su estructura o comportamiento”, con lo cual la propuesta puntualizará los hechos presentados en la descripción del problema y así explorar las diversas opciones que se pueden dar para el aprovechamiento de los desechos sólidos y una propuesta de diseño de un Biodigestor de Flujo Semicontinuo Anaeróbico.

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación que sustentará los planteamientos y posibles soluciones, será bajo el esquema de proyecto factible que para (Mijares, H; p. 5) “Consistirá en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”; por lo tanto se analizarán las premisas necesarias; para obtener un diseño que con lleve a realizar un Biodigestor.

3.3 Diseño de Investigación

Para el planteamiento de la posible resolución de la problemática expuesta, Se adopta la siguiente estrategia; la investigación documental, que “es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos” para (Arias, F; 1999, p. 21); la indagación se realiza bajo documentaciones obtenida de instituciones, corporaciones u organismos que han estudiado, controlado, manejado y han trabajado con la operación de un Biodigestor; conjuntamente con la investigación de campo, que “consiste en la

recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” para (Arias, F; 1999, p. 21); la indagación se realiza bajo la recaudación de la información en la institución, de todos los operadores, docentes, alumnos y usuarios del recinto universitario.

3.4 Población y Muestra

Partiendo de las definiciones de población, que “se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación. (Morlés, 1994, p. 17) citado por (Arias, F; 1999, p. 21); en el caso de la investigación la población beneficiada en la Universidad José Antonio Páez, se trabaja de la data del trabajo de investigación de (Alvarado, R; y Oliveri, R; 2015) con su estadística son alumnos 15.024, personal docente 913, personal administrativo y operativo de la institución 281, pacientes o acompañantes 10800.

Y en cuanto a la muestra que “es un "subconjunto representativo de un universo o población."(Morlés, 1994, p. 54) citado por (Arias, F; 1999, p. 21); se tomará entre las personas que representarán esta población en la institución: alumnos 66, personal docente 4, personal administrativo y operativo de la institución 48.

3.5 Técnica e Instrumento de recolección de datos

La información se obtendrá bajo la forma de la encuesta, que para (Hernández, Fernández y Batista, 1991, p.161) “Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir.”; se realizarán entre los diferentes grupos que hacen vida en la institución, para constatar la manera en que perciben el problema y por este medio evaluar la ventaja de la colocación del Biodigestor.

Los instrumentos de recolección de datos que se emplearán son: encuesta tipo dicotómico a los diferentes usuarios que frecuentan el campus, los archivos electrónicos, como manuales, libros y revistas sobre los Biodigestores, su sistema de operación y mantenimiento, partiendo de las buenas prácticas que otras instituciones han tenido con la gestión de los desechos.

3.6 Validez y Confiabilidad

El error forma parte de la medición y es casi imposible creer que la medición será perfecta, tanto la confiabilidad que para (Hernández, Fernández y Batista, 1991, p. 290) “se trata de que este error sea el mínimo posible”, se gestionará la mayor cantidad de población y organismos a observar para disminuir los márgenes de fallos, y la validez de criterio, citado por (Hernández, Fernández y Batista, 1991, p. 293) “es correlacionar su medición con el criterio” según (Bohmstedt, 1976); se evidenciarán los criterios de técnicos y especialistas en la operación y aprovechar los residuos sólidos y así comprobar los criterios asumidos. Para este trabajo se utilizó el coeficiente de Cronbach denominado α el cual se calculó mediante la fórmula siguiente: $\alpha = K/(K-1)[1 - Vi/Vt]$

Donde K = número de ítems

V_i = varianza de cada ítems

V_t = varianza total

3.7 Técnica de Análisis

Los diferentes fundamentos que se obtengan serán organizados, bajo la clasificación y tabulación, de los datos alcanzados tanto en las instituciones como en los organismos competentes, en el tema de recolección, traslado y diseño de un Biodigestor; su análisis se basará en las técnicas lógicas de la deducción y análisis de los resultados conseguidos.

3.8 Fases Metodológicas

Fase I. Diagnosticar la situación actual del centro de comida en cuanto al manejo de desechos orgánicos.

Se realizara una encuesta la cual permita diagnosticar la situación actual de los centros de comida en cuanto a cómo las personas ven el manejo de los desechos dentro del campus universitario.

Fase II. Incentivar a la comunidad al manejo de los desechos orgánicos y su procesamiento por medio del Biodigestor Anaeróbico.

Se elaborara información mediante trípticos para dar un conocimiento acerca del Biodigestor, Biogás, ventajas y desventajas de los mismos y así poder incentivar a la comunidad acerca de todo lo referente de la generación de energía limpia y sostenible

Fase III. Diseñar un Biodigestor de Flujo Semicontinuo Anaeróbico para la producción del gas metano por descomposición de materia orgánica proveniente del Edificio 2 para la Universidad José Antonio Páez.

Se propondrá un diseño, con sus instalaciones y obras civiles, para la elaboración del Biodigestor Anaeróbico de flujo semicontinuo dentro del recinto universitario para la generación de gas metano por descomposición de materia orgánica.

CAPÍTULO IV

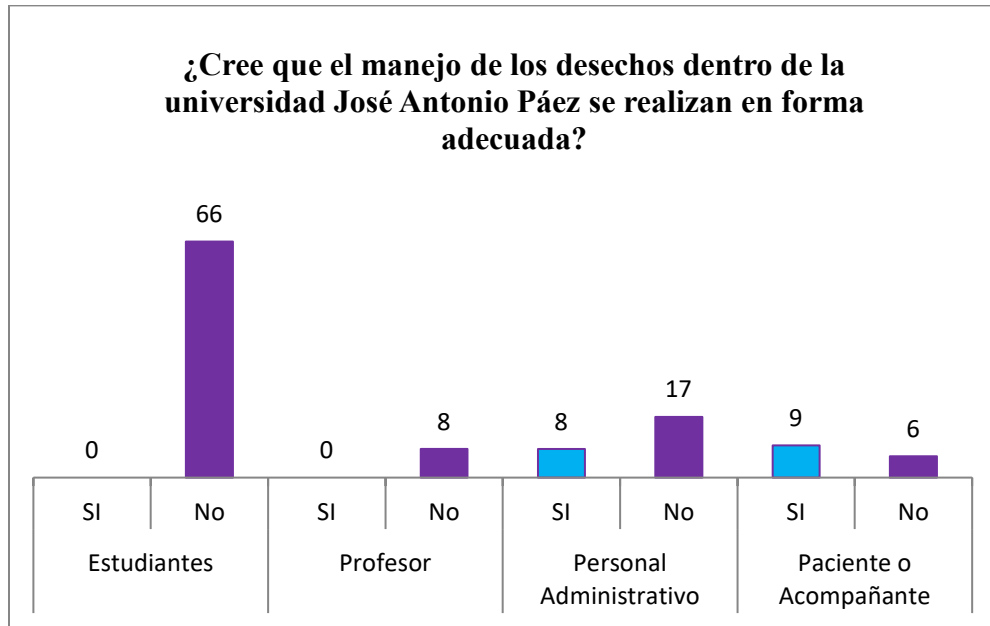
RESULTADOS

A continuación se muestra el desarrollo de cada una de las fases, junto con la información recaudada, debidamente registrada con los instrumentos respectivos, cuyos resultados se describen y analizan de forma adecuada, permitiendo conocer el aprovechamiento de los residuos de origen orgánico dentro del campus universitario.

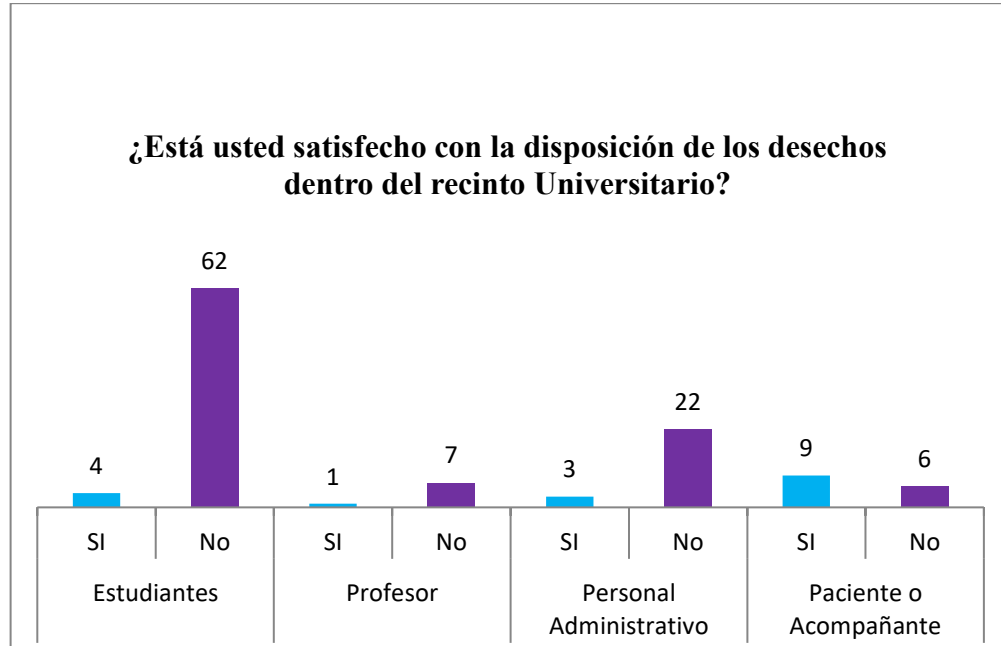
4.1 Fases I. Diagnosticar la situación actual del centro de comida en cuanto al manejo de desechos orgánicos.

Para cumplir con el objetivo se diseñó una encuesta que se aplicó a una población de 118 personas. Se realizó una encuesta para estimar la cantidad de personas que maneja el tema de la clasificación de los desechos, biogás y biodigestor, se consultó a los distintos usuarios de la universidad; a continuación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta realizada.

En la gráfica N° 1 se muestran los resultados de la primera pregunta contenida dentro de la encuesta, por medio de este resultado se observa que 97 de 118 personas encuestadas no están de acuerdo en cómo la universidad hace el manejo de los desechos, lo que permite entender que 82% de la población en estudio, tiene una percepción negativa de este proceso dentro de la Universidad.

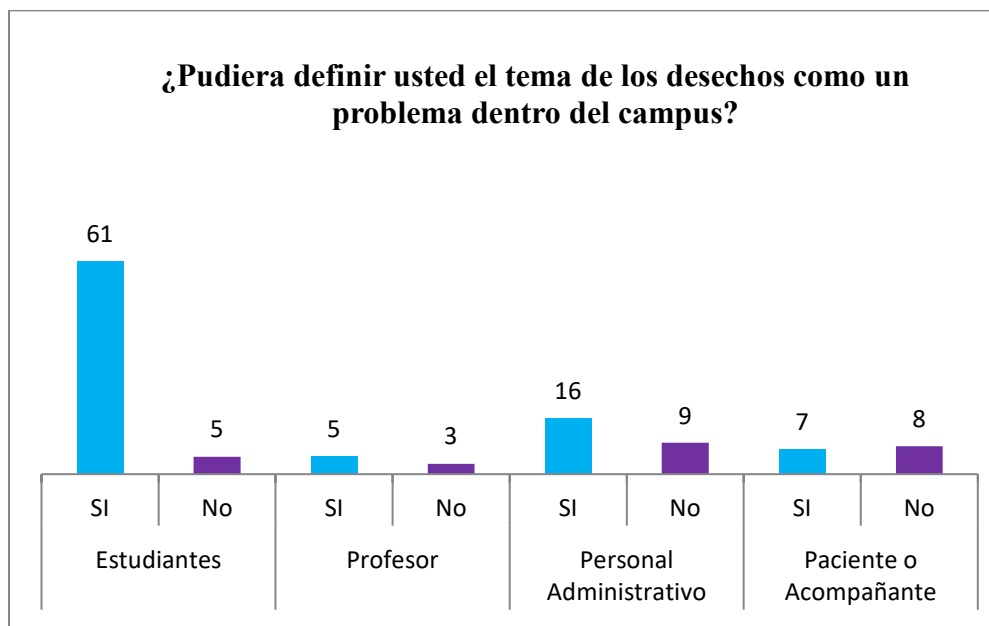


Gráfica 1 Resultados de la 1era pregunta de la encuesta.



Gráfica 2 Resultados de la 2da pregunta de la encuesta.

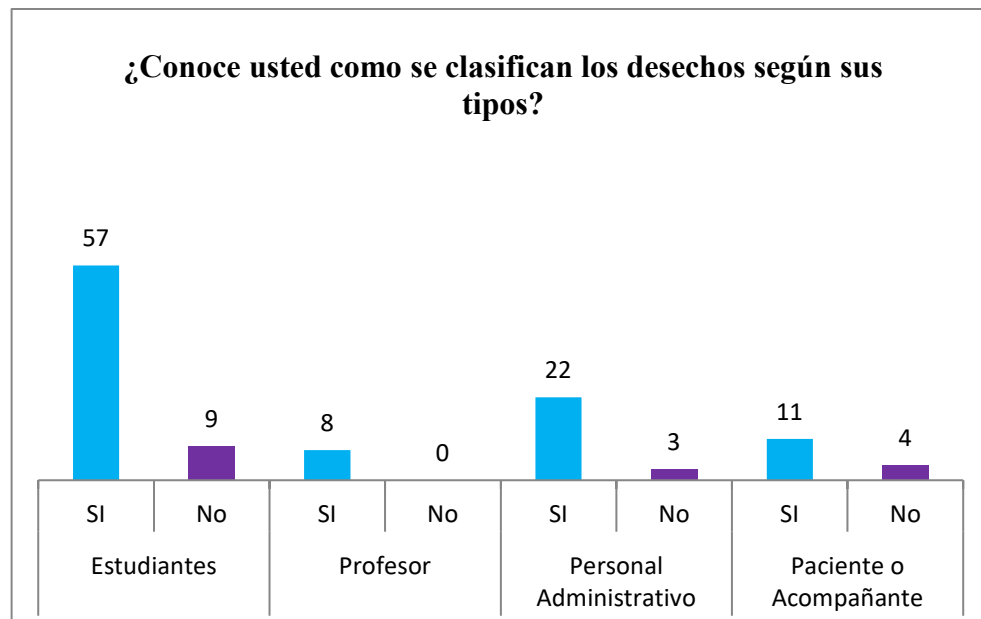
En esta Gráfica se observa que 97 de las 118 personas encuestadas, mantienen la inconformidad en relación al manejo de los desechos dentro del recinto universitario. Se observa también que la percepción de los pacientes y visitantes es diferente, conforme a la gráfica mostrada se encuentran satisfechos con la disposición de los desechos dentro del recinto lo cual es posible debido a que ellos mayormente están en el turno matutino en el cual es menos probable encontrar desorden en los cuartos de basura. Si no se toma en cuenta al grupo de pacientes y acompañantes el índice aumenta de 82% al 88% de personas que no están satisfechas con esta etapa del proceso.



Gráfica 3 Resultados de la 3era pregunta de la encuesta.

La opinión de los usuarios es, por mucho, el factor fundamental en la toma de decisiones para renovar o cambiar un proceso. El 75% de las personas encuestadas consideran el tema de los desechos como un problema dentro del recinto universitario ya que el mismo genera mal aspecto a la universidad y puede ocasionar enfermedades. El 25% de las personas restantes tienen una percepción positiva sobre

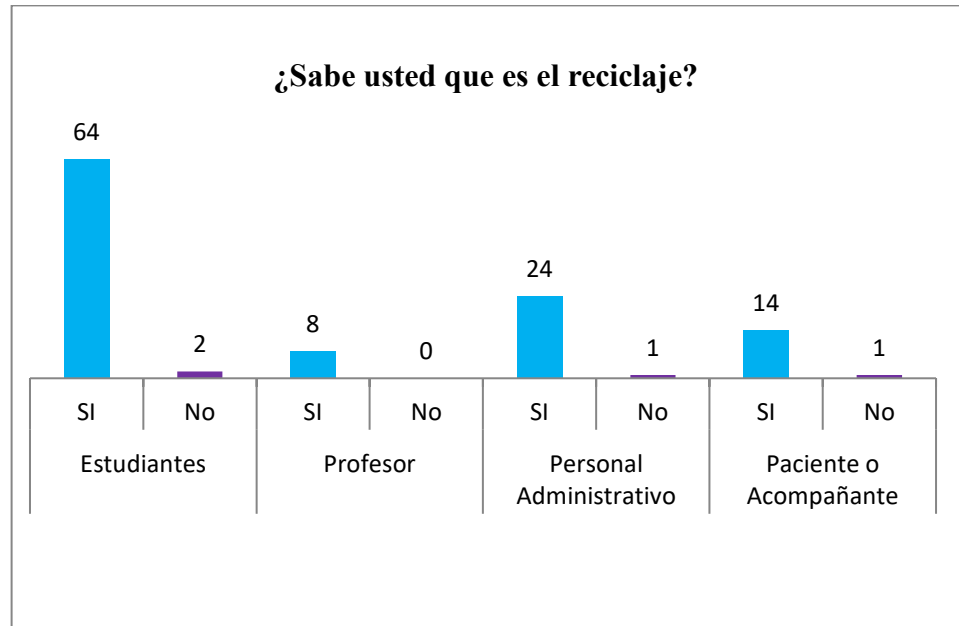
el tema, puede ser debido a desinformación, desinterés o poco observadores acerca del tema.



Gráfica 4 Resultados de la 4ta pregunta de la encuesta.

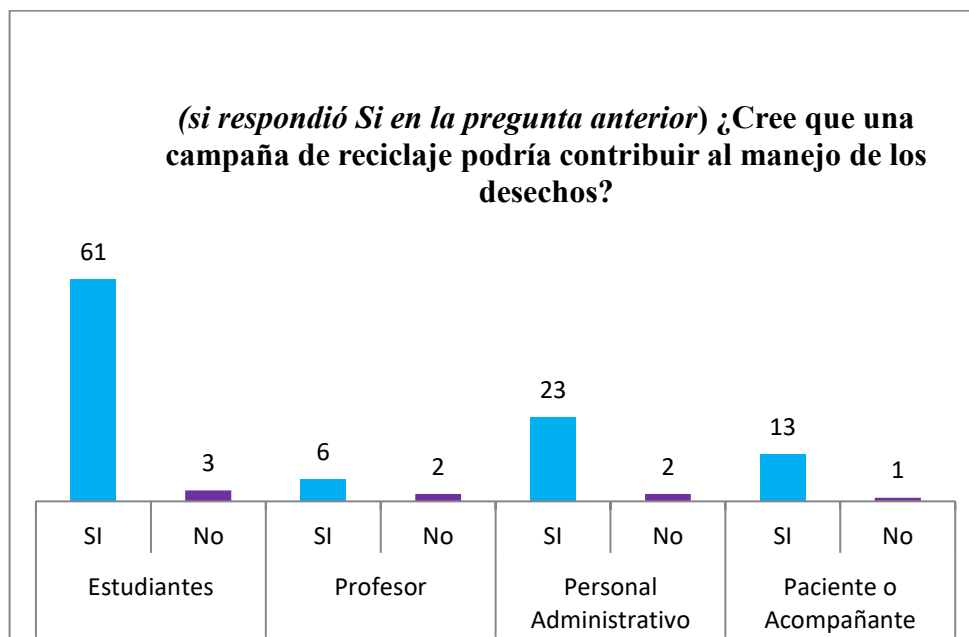
El 83% de los encuestados dicen conocer la forma cómo se deben clasificar los residuos, esto se convierte en una enorme oportunidad para formalizar dicha clasificación de los desechos dentro del recinto universitario, con énfasis primario en el proceso de generación de los desechos.

Alrededor de 20 usuarios expresaron que no sabían cuál es la forma correcta de clasificación de los residuos, esto debe llevar a incluir una campaña educativa y motivadora en el proceso de implementación de la clasificación de los desechos.



Gráfica 5 Resultados de la 5ta pregunta de la encuesta.

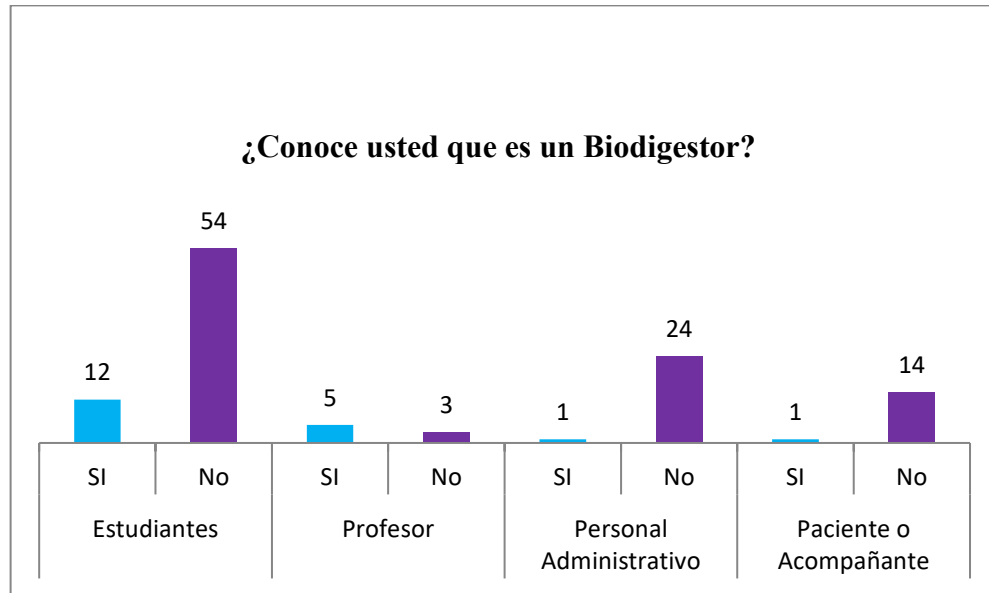
Casi toda la población encuestada, específicamente 114/118 dice saber lo que es el reciclaje. Se puede concluir que los temas ambientales ya no son contenidos ajenos a la población, en general a lo largo de estos años, en todos los niveles sociales y medios de comunicación, se han realizado acciones que difunden el conocimiento sobre el reciclaje, las ventajas y provechos que se obtienen a través de estas prácticas y los beneficios que esto trae al ambiente.



Gráfica 6 Resultados de la 5ta pregunta parte b de la encuesta.

A través de este resultado se puede confirmar, que tener información no es suficiente para activar la acción, que la disposición de reciclar sea de 103/118 es muy positiva y expresa que los usuarios de la universidad ven como efectivo que una campaña de reciclaje contribuiría a mejorar los problemas ambientales referentes a la recolección y manejo de los desechos sólidos; El resultado es de 87% a excepción del grupo de personas restantes que comentaron que no ayudaría una campaña de reciclaje ya que es eso parte de una cultura.

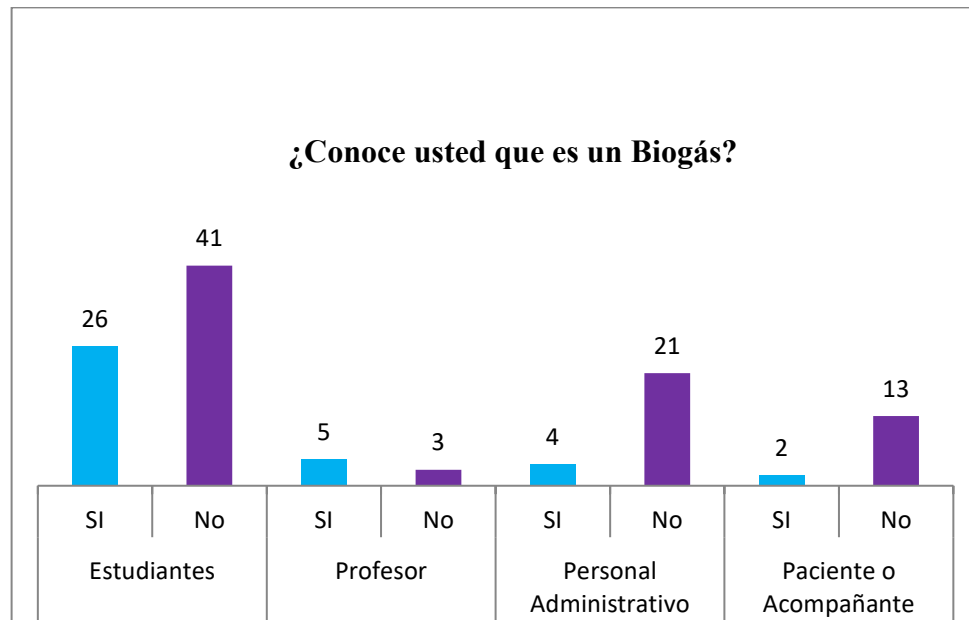
En general se observa un ambiente positivo para el desarrollo de una campaña de separación de los desechos y reciclaje.



Gráfica 7 Resultados de la 6ta pregunta de la encuesta.

Un 80% de la comunidad encuestada no conoce acerca del biodigestor, lo cual permite buscar la forma de proporcionar información a las personas sobre este sistema de aprovechamiento de los desechos orgánicos y así se va expandiendo la información de esta manera de generar energía limpia para la comunidad universitaria y sus alrededores, así como en empresas y centros comerciales también pueden hacer uso de esta manera para así dar un impacto positivo y ayudar al medio ambiente de tanto caos existente en el mundo.

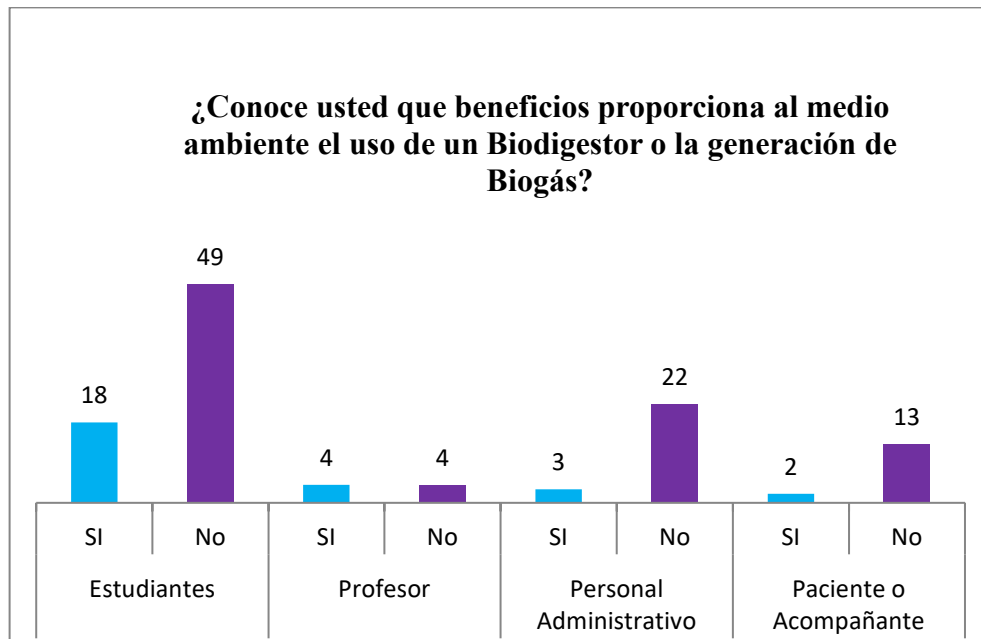
Es necesario seguir formando al individuo en material ambiental, ya que en muchos de los grupos sociales existe la misma desinformación no nada más en el método del biodigestor si no también en otros aspectos ambientales.



Gráfica 8 Resultados de la 7ma pregunta de la encuesta.

A través de este resultado se puede confirmar, que el 66% de los encuestados no conocen que es biogás, los componentes y beneficios que este proporciona al medio ambiente, solo el 34% conoce lo que es el biogás lo cual, también es algo positivo ya que tienen una noción acerca del tema y mediante esto se les puede ampliar el conocimiento existente y manejar más fácilmente este tema.

Existen muchos métodos de generar biogás el que la mayoría comentó y conoce que es el relleno sanitario al parecer es el más conocido aunque casi no se aproveche de este recurso en nuestro país.



Gráfica 9 Resultados de la 8va pregunta de la encuesta.

Estos tres últimos resultados son algo similares ya que la falta de información por parte del encuestado sobre este método de aprovechar los desechos puede considerarse extensa ya que no existe campaña referente al biodigestor.

Para incentivar a la comunidad universitaria sobre el diseño del biodigestor dentro del campus primero hay que informarles que es, sus beneficios y que produce.

4.2 Fase II. Incentivar a la comunidad al manejo de los desechos orgánicos y su procesamiento por medio del Biodigestor Anaeróbico.

Debido a la alta cantidad de personas que no conocen lo que es biogás, biodigestor y su aprovechamiento, se preparó una información mediante un tríptico para educar a la comunidad universitaria acerca de lo referente al tema y así fomentar la conciencia ambientalista acerca del aprovechamiento los residuos orgánicos y su procesamiento por medio del Biodigestor.

En el mencionado tríptico se hace referencia de los siguientes aspectos:

- Definición, Ventajas y Tipos de Biodigestores.

- Definición, Ventajas y Producción de Biogás.
- Y lo equivalente a su producción en Gas Doméstico y Energía Eléctrica como beneficio.

4.3 Fase III. Diseñar un Biodigestor de Flujo Semicontinuo Anaeróbico para la producción del gas metano por descomposición de materia orgánica proveniente del Edificio 2 de la Universidad José Antonio Páez.

Este trabajo investigativo pretende dar a conocer un método sencillo para diseñar un biodigestor de bajo costo. Muchos son los documentos consultados para realizar esta guía y se ha preferido añadir al final una bibliografía de recomendada lectura para aquellos que quieran profundizar en el tema. Otros datos o metodologías simplificadas son causa de la experiencia acumulada en campo y no se dispone de corroboración de resultados de laboratorio.

4.3.1 Parámetros para el diseño del biodigestor horizontal

Esta guía de diseño presenta inicialmente los conceptos que se deben considerar en el diseño de un biodigestor. Presenta parámetros que determinan el diseño, además se aporta un método simplificado de estimación de biogás diario disponible.

Se tendrá la capacidad de diseñar el biodigestor en cuanto volúmenes, y es entonces cuando es necesario determinar las dimensiones de longitud, diámetro y dimensiones de la fosa donde se albergará el biodigestor.

Por otro lado, la carga diaria residuos orgánicos determinará la cantidad de biogás producido por día. La carga diaria, junto con el tiempo de retención (determinado por la temperatura), determinarán el volumen del biodigestor.

4.3.1.1 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 poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Para saber el tiempo de retención de este proceso de efectuará

mediante la gráfica (ver figura 7) y su fórmula (Ver Fórmula 1). Fuente: AENE Consultoría S.A,

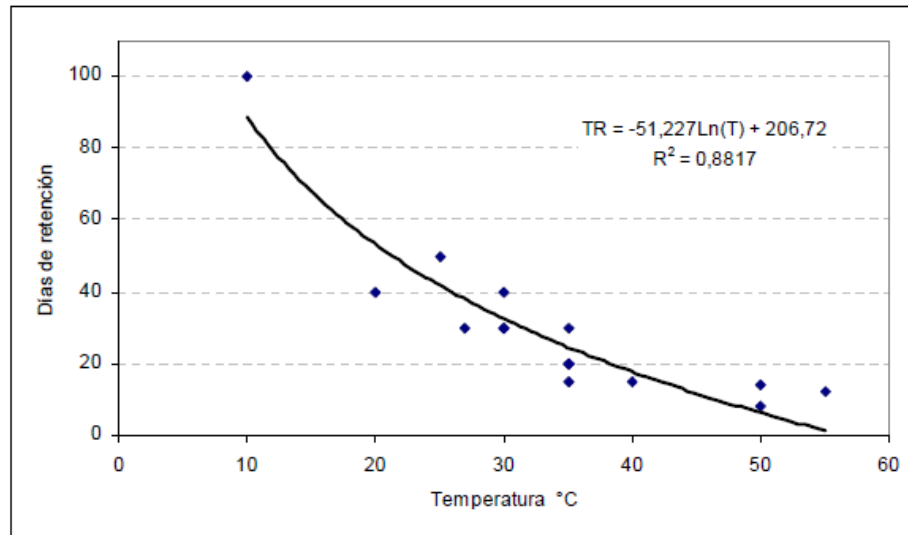


Figura 7 Tiempo de retención según la temperatura
Fuente: AENE Consultoría S.A, Febrero 2003

$$TR = (-51,227 * \ln(T^{\circ}C) + 206,72) \quad (1)$$

Dónde:

TR = Tiempo de retención (días).

Ln = Logaritmo natural.

T°C = Temperatura promedio en grados centígrados anual del sitio donde se instalará el biodigestor.

Según el dato extraído de la página de INAMET la temperatura promedio anual del Municipio San Diego es de 28°C, lo cual el cálculo del tiempo de retención será:

$$TR = (-51,227 * \ln(28) + 206,72) = 36 \text{ días}$$

4.3.1.2 Materia prima disponible

La materia prima para la producción de biogás es el residuo orgánico. Se pueden considerar otro tipo de residuos orgánicos, pero en ningún caso residuos

duros (con cáscara dura) o de larga duración de descomposición. Los residuos orgánicos producen una gran cantidad de biogás, de manera que hay que calcular de cuánto se dispone al día. Hay que considerar el manejo de los residuos de manera correcta mediante la separación y así obtener la cantidad de materia prima de carga (ver figura8)

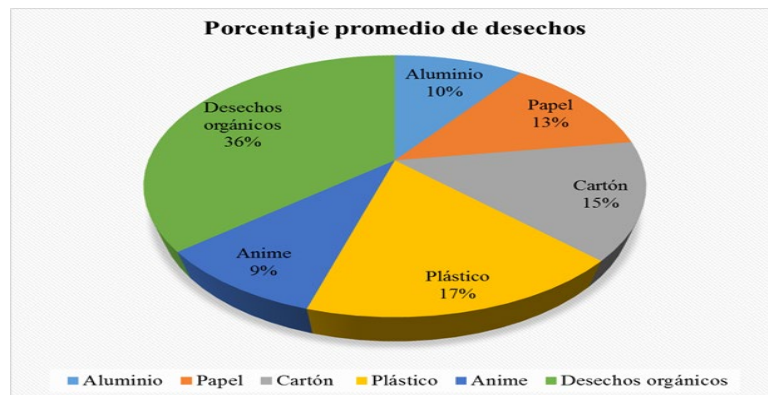


Figura 8 Promedio del porcentaje de desecho por tipo
Fuente: Alvarado, Oliveri (2015)

Tomando su promedio da un total de 131,76 kg de desechos orgánicos al día.

4.3.1.3 Carga de mezcla diaria de entrada

Todos los días hay que cargar el biodigestor con una carga mezclada con un 90% de agua del total de kilogramos de residuos (Elías et al., 2012). De esta manera se asegura una buena mezcla, una parte es residuo y noventa por ciento de agua, está en el rango establecido (ve figura 9). A esto se le llama mezcla de carga diaria (residuo más agua).

Bovino	Fresco	1:1
	Seco	1:2
Porcino		1:2
Aves		1:1
Equino		1:2
Desechos Humanos		1:1
Desechos Vegetales		1 : 0,5-2

Figura 9 Tabla Porciones de Agua
Fuente: Nota de Aula de Energías No Convencionales

4.3.1.4 Volumen total de la masa

El volumen total de la masa o el volumen líquido para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias, es necesario que esté en el interior del biodigestor tanto tiempo como el tiempo de retención estimado (según la temperatura del lugar). El volumen líquido de un biodigestor será el resultado de multiplicar la mezcla diaria de carga por el tiempo de retención.

$$V_{TM} = (V_{ds} + V_{Ma}) * Tr$$

Dónde:

V_{TM} = Volumen total de masa (L)

V_{ds} = Volumen de desechos (L)

V_{Ma} = Volumen de la masa de agua (L)

Tr = Tiempo de retención (días)

$$V_{TM} = (131,76 + 118,58) * 36 = 9012,38 \text{ Litros}$$

4.3.1.5 Volumen total de biodigestor

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25%

restante a la fase gaseosa. El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

$$V_{TB} = \frac{V_{TM} * 100\%}{75\%}$$

Dónde:

V_{TB} = Volumen total del biodigestor (m^3).

V_{TM} = Volumen total de masa (m^3).

$$V_{TB} = \frac{9,01m^3 * 100\%}{75\%} = 12,02 m^3$$

4.3.1.6 Volumen de biogás

Dentro del biodigestor, por estar en una situación anaerobia (en ausencia de oxígeno) se va a producir biogás, y éste se acumulará en la parte superior.

$$V_B = \frac{V_{TM} * 25\%}{100\%}$$

$$V_B = \frac{9,01m^3 * 25\%}{100\%} = 2,25 m^3$$

4.3.1.7 Producción de biogás

Depende de la cantidad de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) que haya en la carga del tipo de residuo a generar. Para este caso se utilizó la Tabla de la Figura 10 para sacar los valores de ST, SV la producción de biogás según el tipo de residuo.

$$ST = \frac{Carga\ diaria * \%ST}{VL}$$

$$SV = ST * \%SV$$

$$Producción\ Biogas = SV * Pb(desecho) * V_{TM}$$

Tipo de residuo	%Sólidos Totales	%Sólidos Volátiles	Producción de biogas (m ³ /Kg)
Desecho de comida	65	78	0.443
Desecho de Verduras/frutas	12	86	0.781

Figura 10 Producción de gas según su tipo de residuo
Fuente: Aitor Díaz De Basurto Burgos

Para este diseño se tiene dos producciones es desecho de fruta/verdura y desecho de comida cuya sumatoria de su producción de biogás dará el total de producción al día.

- **Desecho de Comida**

$$ST = \frac{131,76 \text{ kg/día} * 0,65}{9,01 \text{ m}^3} = 9,5029 \text{ Kg/ m}^3/\text{día}$$

$$SV = 9,5029 \text{ Kg/ m}^3/\text{día} * 78 = 7,4122 \text{ Kg/ m}^3/\text{día}$$

$$PB_1 = 7,4122 \text{ Kg/ m}^3/\text{día} * 0,443 * 9,01 = 29,59343 \text{ m}^3/\text{día} = 29593,43 \text{ L/día}$$

- **Desecho Fruta/Verdura**

$$ST = \frac{131,76 \text{ kg/día} * 0,12}{9,01 \text{ m}^3} = 1,7544 \text{ Kg/ m}^3/\text{día}$$

$$SV = 1,7544 \text{ Kg/ m}^3/\text{día} * 86 = 1,5088 \text{ Kg/ m}^3/\text{día}$$

$$PB_2 = 1,5088 \text{ Kg/ m}^3/\text{día} * 0,781 * 9,01 = 10,61975 \text{ m}^3/\text{día} = 10.619,75 \text{ L/día}$$

$$PBT = PB_1 + PB_2 = 29,59343 \text{ m}^3/\text{día} + 10,61975 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$PBT = 40,21317 \text{ m}^3/\text{día} = 40.213,17 \text{ L/día}$$

4.3.1.8 Longitud del Biodigestor

Para determinar este valor se utiliza la ecuación para el cálculo de volumen de un cilindro. Para ello se debe conocer en este sentido un valor de radio de cámara, que se determina a partir de valores establecidos en el mercado.

$$L_B = \frac{V_{TB}}{\pi * r^2}$$

Donde:

L_B = Longitud del Biodigestor (m)

V_{TB} = Volumen total del biodigestor. (m³)

r = Radio del rollo (m)

4.3.1.9 Conceptos en el dimensionado de un biodigestor

Conociendo el volumen total de un biodigestor se deberá determinar las dimensiones del mismo. Las dimensiones primeras a determinar son la longitud y radio del biodigestor tubular.

- **Ancho de rollo y radio de la manga:** El polietileno tubular se vende en rollos de 50 metros, con un ancho de rollo que varía normalmente entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 metros. Este ancho de rollo equivale a la mitad de la circunferencia total del plástico.

Para la construcción de biodigestores tubulares, es la forma del plástico, la que permite hacer una cámara hermética si es que se amarran ambos extremos de la manga. El ancho de rollo determina el diámetro y radio del biodigestor. Según el ancho de los rollos más comunes en el mercado se tiene:

Tabla 1. Parámetro según el ancho de rollo

Ancho de Rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0.32	0.64
1.25	2.5	0.4	0.8
1.5	3	0.48	0.96
1.75	3.5	0.56	1.12

2	5	0.64	1.28
---	---	------	------

Fuente: Jaime Martí Herrero. Guía de diseño y manual de instalación

- **Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor:** Según lo anterior, se tendrán diferentes posibilidades de longitudes y anchos de rollo para alcanzar el volumen total deseado. Los anchos de rollo más grandes exigirán menor longitud para alcanzar el volumen deseado. No conviene biodigestores demasiado cortos ni largos y para ello existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud que es 7. Esto significa que dividiendo la longitud estimada entre el diámetro de la manga, habrá que seleccionar las dimensiones del biodigestor que más se acerquen a una relación de 7. Esta relación es flexible en un rango de 5-10, siendo la mejor 7.

Tabla2. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Ancho de Rollo (m)	Longitud del biodigestor (m)	Diámetro del biodigestor (m)	L/d (óptimo de 7 en un rango de 5-10)
1	$Vt/0.32$	0.64	L/d
1.25	$Vt/0.5$	0.8	L/d
1.5	$Vt/0.72$	0.96	L/d
1.75	$Vt/0.99$	1.12	L/d
2	$Vt/0.1.29$	1.28	L/d

Fuente: Fuente: Jaime Martí Herrero. Guía de diseño y manual de instalación

- **Dimensiones de la zanja del biodigestor:** El diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular. La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerán del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

De forma general, se puede emplear las siguientes dimensiones para la zanja:

Tabla 3. Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)

AR (m)	2	1.75	1.5	1.25	1
Af (m)	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3
As (m)	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5
Pz (m)	1.4	1	0.8	0.7	0.6

Fuente: Fuente: Jaime Martí Herrero. Guía de diseño y manual de instalación.

Af = Ancho de fondo (m)

$A_s = \text{Ancho de superficie (m)}$

Pz = Profundidad zanja (m)

Para el cálculo de la longitud en base a las tablas mencionadas se hizo el cálculo de manera tabulada para así observar la longitud óptica para cada ancho y diámetro de rollo (ver tabla 4)

Tabla 4. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Ancho de Rollo (m)	Longitud del biodigestor (m)	Diámetro del biodigestor (m)	L/d (óptimo de 7 en un rango de 5-10)
1	37.35	0.64	58.36
1.25	23.91	0.8	29.88
1.5	16.60	0.96	17.29
1.75	12.20	1.12	10.89
2	9.34	1.28	7.30

Fuente: Estraña, Sánchez

Se puede observar que el ancho que se debe utilizar para este diseño es el de 2 m ya que su relación óptima está muy cerca de 7. La longitud del Biodigestor quedara:

$$L_B = \frac{12,02}{\pi * (0,64)^2} = 9,35 \text{ m}$$

Según la Tabla 4 las dimensiones de la zanja según el ancho de rollo son:

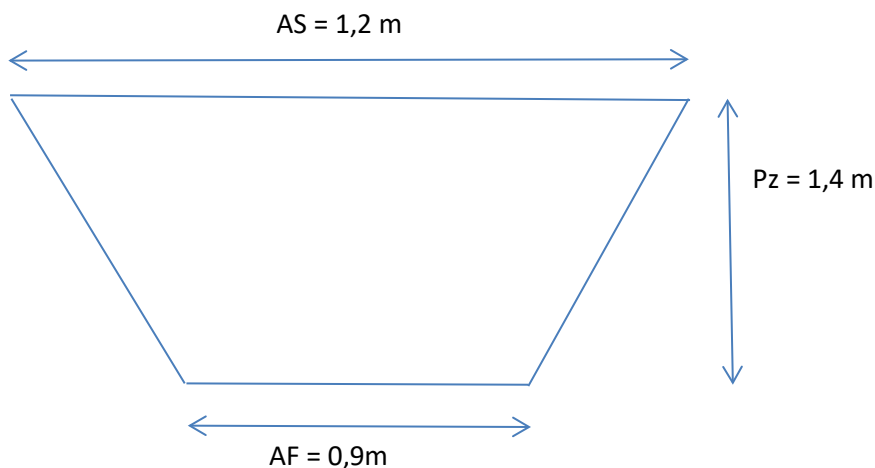


Figura 11 Dimensiones de la zanja
Fuente: Estraña, Sánchez, (2015)

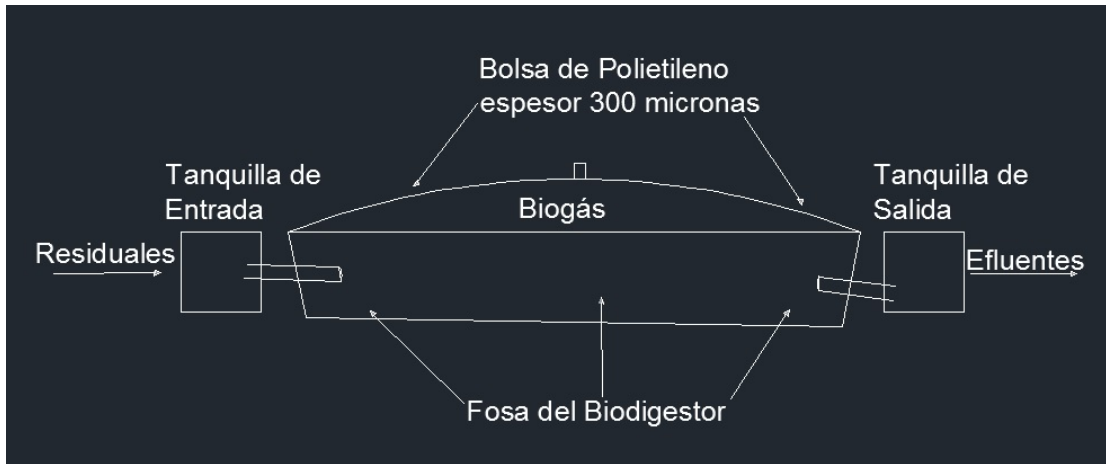


Figura 12 Partes del biodigestor
Fuente: Estraño, Sánchez (2015)

4.3.2 Cálculo del Biodigestor Tipo Chino

Para el cálculo del volumen del biodigestor son con las misma fórmulas que ya hemos trabajado con el horizontal (ver tabla 5) el cual se procede para el diseño de las dimensiones.

Tabla 5. Resultados del volumen del biodigestor

T°	Tr (Días)	VDS kg	V _{ma} Litros	VMD Litros	VTM m ³
28	36	131.76	118.58	250.34	9.01

Fuente: Estraño, Sánchez

Dimensionamiento del biodigestor: El dimensionamiento del biodigestor comprende el cálculo del volumen de compensación (V_c), el volumen de la cúpula o campana (V_e) y el volumen de almacenamiento de gas (V_g). En la figura 13 [Olaya 2006], se muestran las variables que serán estimadas en los presentes cálculos:

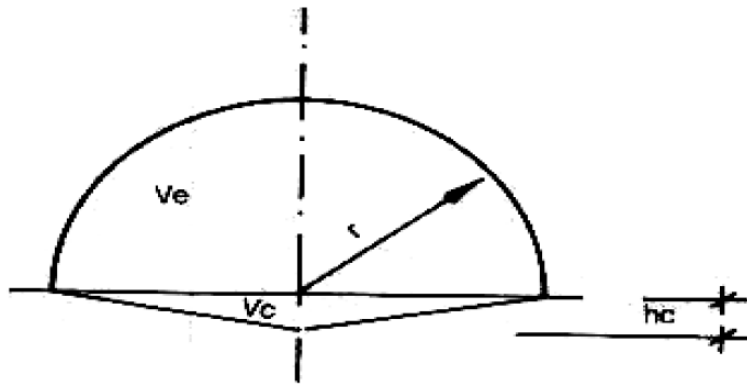


Figura 13 Variables involucradas en el dimensionamiento del biodigestor.

Fuente: Olaya 2006

En la figura 13, r corresponde al radio de la cúpula, y h_c corresponde a la altura del volumen complementario. Se ha establecido una relación del volumen de la campana al volumen complementario de 10 a 1, así como un volumen total del biodigestor de un 4% adicional del volumen de diseño, al considerarse por razones de construcción (al construirse con mampostería o ladrillos) el espesor del muro que lo cubriría internamente (también se recomendaría aislar la cara externa de las paredes del biodigestor, del contacto con el suelo, para evitar corrosión, humedades y deterioro de la estructura). Lo anteriormente descrito, puede formularse como:

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{1}{10}$$

$$V_e + V_c = 1,04 * V_d$$

De las ecuaciones dichas se tiene que:

$$V_c + 10V_c = 9,01 V_c = 1.04V_d$$

$$11V_c = 1.04 * 9,01 = 9,37m^3$$

$$V_c = \frac{9,37 m^3}{11} = 0,85m^3$$

$$V_e = 9,37m^3 - 0,85m^3 = 8,52 m^3$$

El valor de r puede calcularse con la ecuación:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} * Ve}$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} * 8,52} = 1,60 \text{ m}$$

Mientras el valor de hc es calculado

$$h_c = \frac{r}{5} = \frac{1,60\text{m}}{5} = 0,32 \text{ m}$$

Se procede al cálculo del volumen de gas (V_g). Se plantea entonces la siguiente ecuación, de acuerdo con la figura 14 (el valor de V_g está en m^3 , los valores de h, a y b están en metros) [Vargas 1992]:

$$V_g = \frac{\pi h}{6} [3a^2 + 3b^2 + h^2]$$

Dónde:

$$h = \frac{2r}{5} - \text{borde libre}$$

borde libre = 0,25 m

$$a = \frac{4r}{5}$$

$$b = \frac{r}{2}$$

Remplazando los valores:

$$h = \frac{2*(1,6\text{m})}{5} - 0,25\text{m} = 0,39\text{m}$$

$$a = \frac{4(1,6\text{m})}{5} = 1,28 \text{ m}$$

$$b = \frac{1,6\text{m}}{2} = 0,8 \text{ m}$$

$$V_g = \frac{\pi * 0,64m}{6} [3(1,28m)^2 + 3(0,8m^2) + (0,64m^2)] = 2,67m^3$$

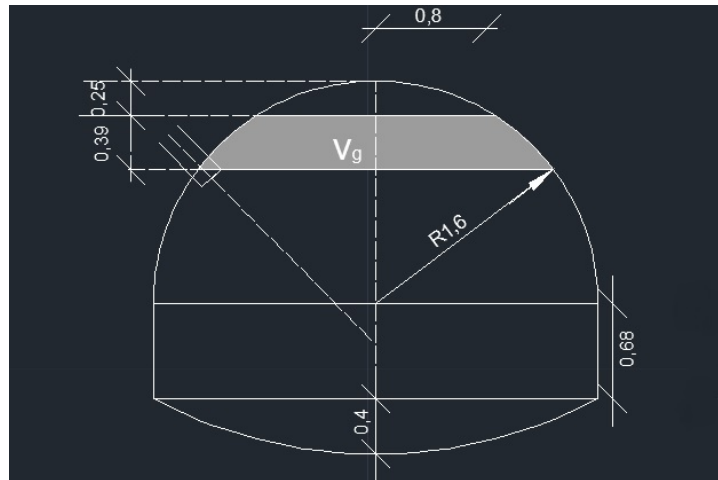


Figura 14 Corte transversal del esquema completo del biodigestor del diseño
Fuente: Estraño, Sánchez (2015)

El volumen de gas a almacenar, requiere entonces la adición de un tanque de compensación que proporcione al biodigestor el volumen necesario para almacenar la biomasa a fermentar. El volumen del tanque, entonces corresponderá al volumen de gas, es decir $2,67 \text{ m}^3$, y se construye en medio del volumen generado por la campana y el volumen adicional; su forma geométrica corresponde a un cilindro (ver figura 15) [Olaya 2006].



Figura 15 Tanque de Compensación
Fuente: Olaya, (2006)

Tabla 6. Tabla comparativa de los biodigestores

Características	Cantidades	
	Biodigestor Horizontal	Biodigestor Tipo Chino
Carga Total Diaria de Materia Orgánica (kg/día)	131.76	131.76
Volumen del Biodigestor (m ³)	9.01	9.01
Carga Total de Mezcla Diaria (kg/día)	250.34	250.344
Producción de Biogás (m ³ /Día)	11.50	11.4953
Diámetro de la Cúpula (m)	1,28	3,2
Longitud del Biodigestor (m)	9,35	-
Altura Total del Biodigestor (m)	3,00	2,68
Capacidad de Almacenamiento de biogás en la Cúpula (m ³)	2,25	2,67
Volumen del tanque de Carga (m ³)	2,028	2,028
Largo del Tanque de Carga (m)	1,3	1,3
Ancho del Tanque de Carga (m)	1,2	1,2
Profundidad del Tanque de Carga (m)	1.3	1,3
Volumen del Tanque de Descarga (m)	2,028	2,028
Largo del Tanque de Descarga (m)	1,3	1,3
Ancho del Tanque de Descarga (m)	1,2	1,2
Profundidad del Tanque de Descarga (m)	1.3	1,3
Ancho del biodigestor (m)	-	1.6
Ancho del Fondo de la Zanja (m)	0,9	-
Ancho de Superficie de la Zanja (m)	1,2	-
Profundidad de Zanja(m)	1,4	-

Fuente: Estraño, Sánchez, (2015)

CONCLUSIÓN

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos es una actividad deseable desde el punto de vista ambiental, siempre y cuando se realice adecuadamente el manejo de los mismos ya que la contaminación que producen es muy grande y pueden generar enfermedades.

Hay muchas maneras para tener una buena disposición final de los desechos, el aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente.

- En la encuesta realizada a los distintos usuarios de la Universidad José Antonio Páez, se concluye que existen fallas en el manejo de los desechos esto se produce ya que no hay separación de los residuos de manera correcta que pueda garantizar su clasificación.
- Otro factor detectado en la encuesta es que un porcentaje de 82% no está satisfecho con la disposición de los desechos debido a que afecta a todos los usuarios de la universidad, atrae y genera agentes patógenos que permite la proliferación de enfermedades.
- Cuando se habla de desechos es un problema dentro del campus ya que no hay una disposición final adecuada aunque es cierto de que hay problemas con la recolección de los desechos a nivel municipal también se debe tomar en cuenta las distintas manera para reciclar, hacer buen uso de los residuos domésticos aprovechando sus beneficios.
- A pesar de la importancia de esta tecnología en la preservación del medio ambiente y el aprovechamiento de sus beneficios, un 80% de la comunidad encuestada no conoce el biodigestor.

- En el conocimiento del biogás el porcentaje es relativamente parejo ya que el biogás es más nombrado por ser un gas natural y ser un gran beneficio al medio ambiente por ser biodegradable.
- Puedes conocer la tecnología pero no los beneficios que traen, en la encuesta aplicada el beneficio que proporciona al medio ambiente no tenían conocimiento de esto pero si saben que es un Biodigestor o biogás.
- Las personas muestran interés cuando le das información de una tecnología que desconocían el cual es muy beneficioso dar charlas, informar mediante medios de comunicación para la investigación de este método de aprovechar los desechos sólidos
- El Biodigestor es de gran beneficio para una comunidad que genera muchos desechos sólidos.
- Las variables de mayor importancia dentro del proceso de biodigestion anaeróbica son el ph, la temperatura, agentes inhibidores y la relación de carbono nitrógeno, pues de ellos depende que el proceso de descomposición se produzca de manera eficaz por los efectos que estos generan sobre la flora bacteriana que presenta cambios críticos en sus procesos biológicos.
- Los criterios de selección para el biodigestor anaeróbico más adecuado giran en torno a varios factores: El modo de alimentación, concentración de sustrato, los costos de construcción, la temperatura de operación, el espacio disponible.
- El proceso de fermentación anaeróbica puede usarse como una fuente de energía prácticamente inagotable, obtenida a partir de los efluentes o los desechos de diversas actividades del hombre, teniendo de esta manera un ciclo continuo de producción de combustible y abono que respeta al medio ambiente.
- El manejo de los desechos no es un problema sólo de administración pública. Depende de la cultura de todos y el buen uso que se le pueda dar. Mediante

la cultura del saneamiento ambiental con aprovechamiento energético no solo se mejora el entorno sino que se logra un beneficio renovable y limpio que puede durar para toda la vida.

- La utilización de todos los beneficios de la digestión anaeróbica es un reto para la ciencia y la tecnología buscando llegar a un aprovechamiento óptimo de este recurso renovable no explotado.
- Es factible con los cálculos realizados el diseño del biodigestor para tratar 131,76 kg/día de residuo biodegradable proveniente del centro de comida del edificio 2. Se realizaron dos diseños uno de forma horizontal (tipo salchicha) y otro vertical (tipo chino), el cual decidimos escoger el biodigestor tipo chino debido a que ocupa menor espacio y se adecúa a la Universidad ya que el otro tipo de biodigestor es menos estético y se emplean más que todo para granjas.

RECOMENDACIONES

Para el buen funcionamiento del biodigestor, es necesario realizar constantemente una serie de actividades de mantenimiento del mismo, así como medidas de seguridad..

Se mencionan a continuación las siguientes recomendaciones:

- Para obtener un flujo diario de bioabono en la salida se necesita introducir la cantidad calculada de alimentación del biodigestor.
- Alimentar con la misma proporción de residuos-agua. Es importante mantener una mezcla constante, ya que esto propicia la población constante de bacterias y por tanto la producción de biogás.
- No introducir agua con detergente. El detergente modifica el pH de la mezcla, por tanto alterará las propiedades del gas producido.
- No introducir pajilla ni cáscaras de frutas. Estos materiales propician atascamiento y obstrucción en el biodigestor.
- Evitar el acercamiento de animales. Ya que el reactor es de polietileno, un material susceptible a la rotura, es indispensable alejar los animales que puedan romper el plástico.
- Usar el biogás constantemente para evitar acumulación excesiva de biogás en el depósito, por tanto aumentar la presión y posiblemente dañar el polietileno, se recomienda construir un tanque para ir almacenando el biogás en ese contenedor.
- Verificar que las trampas de agua tengan siempre el líquido, ya que éste llega a evaporarse con el tiempo. Con esto se evita la fuga del gas por éstos dispositivos.
- Utilizar constantemente el bioabono generado, para evitar posible acumulación excesiva del mismo.
- Si hay acumulación excesiva de biogás en el depósito y en el reactor, se recomienda quemarlo desde la válvula de seguridad, ya que es preferible

emitir el gas como CO₂ a la atmósfera, a que como metano, pues éste último tiene un poder de contaminación más grande que el CO₂.

- Es recomendable que se efectúe la normativa de la clasificación de los desechos, para contar con la colaboración de los usuarios y comercios que hacen vida en la institución.
- Se sugiere desarrollar cuartos de disposición primaria en el campus, que concentren los desechos en inorgánicos y orgánicos, con lo cual se establezcan instalaciones específicas para cada necesidad.
- Es preciso implantar centros de reciclajes a través de contenedores identificados, que permitan la clasificación de los desechos desde la fuente en los espacios más transitados de la Universidad José Antonio Páez, como las entradas y salidas de los edificios, los pasillos y áreas de transición, en las áreas más concurridas y de alta generación de desechos, como la feria de comida y establecimientos comerciales.
- Cabe agregar que se recomienda promover los beneficios que permite la clasificación de los desechos, para los diversos usuarios de la Universidad así como la población vecina a la misma.
- Debe sumarse a la educación de los profesionales dentro de la Universidad José Antonio Páez, en todas las áreas que se forma, las enseñanzas ambientales que ayudará a transformar la consciencia de la sociedad.
- Colocar un tanque adicional para la acumulación de los gases, de la misma dimensión a la producción de biogás.
- Estudio de nuevas formas de almacenamiento del biogás para su mejor manipulación.
- Dada la complejidad de la solución, la sensibilidad de los componentes ambientales involucrados y el conjunto de factores que intervienen, se recomienda realizar el análisis de factibilidad económica y de factibilidad ambiental.

REFERENCIAS

Referencias documentales

- Aitor Días De Basurto Burgos (2013), Diseño y puesta en marcha de un Biodigestor anaeróbico con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia)
- Alvarado, A. y Olivieri, R. (2015). Clasificación de los desechos y propuesta de diseño del sistema de disposición primario de la Universidad José Antonio Páez
- Arce Cabrera Jorge Jimmy (2011). Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicables en la zona agrarias del Litoral.
- Caceres Edgar (2010), Producción de biogás. Construcción de un Biodigestor.
- Guerra Moisés (2011). Diseño y construcción de un Biodigestor en la Universidad Don Bosco. Reporte de Investigación.
- Jaramillo Henao Gladys, Zapata Márquez Liliana María (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.
- López D. (2013). Estudio para el aprovechamiento de gas combustible a partir de rellenos sanitarios.
- Martí Herrera Jaime (2008). Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2013). Cartilla para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.
- Olaya Arboleda Yeison (2009). Fundamentos para el diseño de Biodigestores.
- Pérez Briseño José Ángel y Gudiño Miguel (2005). Diseño de un Biodigestor para una granja autosustentable. Sandrea, Y., Sánchez, W. Silva, J., Bracho, J., Pitre, R., Chaparro, C. y Sánchez, Manuel (2012). Elaboración de un biodigestor como alternativa agroecológica en un plan de abastecimiento familiar en la finca “Los 5 Hermanos” del municipio Jesús Enrique Lossada.

Unidad de Planeación Minera Energética (2003), Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energía alternativa y difusión.

Referencias electrónicas

Amos Unshelm Báez Carlos Emilio (2011). **Monitoreo y Caracterización de los Residuos y Desechos Sólidos**. Documento en línea. Disponible: http://misredes.com.ve/pdf_doc/articulos/arti_pdf/articulo_1.pdf

Avila Soler Enrique. **Aprovechar energía por residuos sólidos**. Documento en línea. Disponible:

<http://energiaadebate.com/biodigestores-aprovechar-residuos-para-generar-energia/Biodigestor>. Documento en línea. Disponible:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>

EG-Ingeniería, **Tecnología Sustentable** (2011). Documento en línea. Disponible: <http://www.eg-ingenieria.com.ar/catalogos/eg-ingenieria-biodigestor-prefabricado-para-residuos-organicos.pdf>

Flores López Jorge Luis. **Estudio de caracterización de residuos sólidos**.

Documento en línea. Disponible: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2010f/880/Pasos%20para%20la%20caracterizacion%20de%20Residuos%20Domociliarios.htm>

Guerrero Luz. ¿Qué es un biodigestor? Documento en línea. Disponible: <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-Un-Biodigestor.htm>

Ingeniería de aguas residuales (2015). **Diseño de procesos en digestión anaerobia**. Documento en línea. Disponible: https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Dise%C3%B1o_de_procesos_en_digesti%C3%B3n_anaerobia#13.2._El_digester

ANEXOS

ANEXO A

Encuestas realizadas a profesores, estudiantes, pacientes o acompañantes y personal administrativo

ENCUESTA TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

La siguiente encuesta es parte de un estudio de opinión necesario para la realización del trabajo especial de grado de estudiantes de ingeniería civil de la universidad José Antonio Páez, el mismo tiene carácter anónimo. Considerando que la basura o desecho es todo aquello que se genera y se mezcla produciendo una contaminación, en cambio residuo es la separación apropiada que permite reutilizar, reciclar o desechar apropiadamente.

		Sí	No
1	¿Cree que el manejo de los desechos dentro de la universidad José Antonio Páez se realizan en forma adecuada?		
2	¿Está usted satisfecho con la disposición de los desechos dentro del recinto Universitario?		
3	¿Pudiera definir usted el tema de los desechos como un problema dentro del campus?		
4	¿Conoce usted como se clasifican los desechos según sus tipos?		
5	¿Sabe usted que es el reciclaje?		
5.b	(si respondió Si en la pregunta anterior) ¿Cree que una campaña de reciclaje podría contribuir al manejo de los desechos?		
6	¿Conoce usted que es un Biodigestor?		
7	¿Conoce usted que es Biogás?		
8	¿Conoce usted que beneficios proporciona al medio ambiente el uso de un Biodigestor o la generación de Biogás?		

Datos del encuestado

Sexo: F M
Edad:

Tipo de usuario

Estudiante
Profesor
Personal de mantenimiento
Paciente y/o Acompañante
Personal Administrativo



Fotos de la entrega de la encuesta

Fuente: Estraño, Sánchez

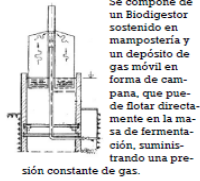
ANEXO B

Tríptico entregado dentro del Campus Universitario

Tipos de Biodigestores

Existen diversos tipos de Biodigestores, clasificados por su diseño o tipo de estructura que lo conforma, por ello, se puede decir que los más utilizados son:

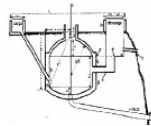
Campana Flotante



Se compone de un Biodigestor sostenido en mampostería y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación, suministrando una presión constante de gas.

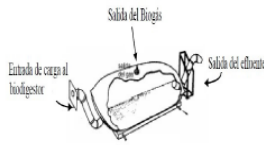
Biodigestor tipo chino

Se compone de un Biodigestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil, completamente cerrado donde se almacena el biogás.



Desplazamiento Horizontal

Este tipo de Biodigestor se caracteriza porque la carga se introduce en un extremo y el efluente se retira en otro extremo y es una construcción horizontal de desplazamiento, cuyo cuerpo se encuentra bajo el suelo con la finalidad de proporcionarle un buen aislamiento térmico.



República Bolivariana de Venezuela
Universidad José Antonio Paéz
Facultad de Ingeniería



BIODIGESTOR



TESISTAS DE LA ESCUELA
DE INGENIERIA CIVIL

• Estraña N. Maria Alejandra
• Sánchez P. Erik Joel
Noviembre 2015

BIODIGESTOR

¿Qué es un Biodigestor?

Es 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 no se incluyen cítricos ya que acidifican, entre otros) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.



Biodigestores de Flujo Continuo de la Fundación Danac.

zantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Beneficios del Biodigestor

- Permite la producción de biogás.
- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol.
- Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de biocarburantes contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera.
- Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo así las posibilidades de producir cáncer.

- Además, aprovechar el gas evita los malos olores provocados por el ácido sulfhídrico que contiene.
- Producción de Energía por la acción de las bacterias metanogénicas, gran parte del contenido orgánico de las aguas se transforma en gas metano.

¿Que es Biogás ?

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.

Ventajas en la utilización de biogás

- Su producción es renovable.
- Su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles.
- Además, al ser fácilmente biodegradables, los biocarburantes no inciden negativamente en la contaminación de los suelos .
- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles

Producción de Biogás de diferentes residuos (adaptado de Qiao et al., 2011)

Tipo de Residuo	Producción de biogás
Estiércol de vaca	182,0
Estiércol de cerdo	365,0
Fango	202,0
Residuo de fruta/verdura	443,0
Residuo de comida	781,0

Aquí se observa claramente la producción de biogás mediante el proceso anaeróbico. Los residuos de frutas y vegetales presentan un potencial energético suman un total de 1224 (ml/g SV), es una cantidad alta y beneficiosa para la generación de energía limpia el cual se puede aprovechar mediante el Biodigestor



Fotos de la entrega de tríptico

Fuente: Estraña, Sánchez

ANEXO C

Visita a la fundación Danac para curso de capacitación del Biodigestor





Fotos de la visita a la Fundación Danac

Fuente: Estraña, Sánchez

ANEXO D

Cuarteo de la muestra





Fotos de la separación de la muestra, cuarteos y separación

Fuente: Roxana Alvarado