

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

OBTENCION DE BIOGAS Y BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE LA FERMENTACION DE DESECHOS ORGANICOS DOMESTICOS DE LA CIUDAD DE GUARANDA.

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, A TRAVÉS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE, ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL.

AUTORAS:
MARIA LUISA SALAZAR CHAMBA
JENY ELIZABETH VILLARES DORADO

DIRECTOR DE TESIS
ING. EDWIN SOLÓRZANO

GUARANDA - ECUADOR
2012

REVISADO POR:

.....

Ing. EDWIN SOLÓRZANO

DIRECTOR DE TESIS.

.....

Ing. MILTON BARRAGÁN C. M.Sc

BIOMETRISTA.

APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE CALIFICACION DE TESIS:

.....

Ing. VICENTE DOMÍNGUEZ

AREA REDACCION TECNICA.

.....

PhD. CARLOS JACOME

AREA TECNICA

DEDICATORIA

Con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios, porque fue El quién permitió que la sabiduría dirija mis pasos, quien me dio fortaleza cuando a punto de caer he estado y a iluminado mi sendero.

A mis padres, Luis Salazar y Carmelina Chamba por ser ellos dos mi árbol principal, el que me cobijo con su sombra dándome así la fuerza para seguir caminando y lograr alcanzar esta meta anhelada. Para ustedes es este logro y todos los que me faltan por alcanzar.

A mi hermana, Diana Salazar, por que mas que una hermana has sido como una madre, por apoyarme durante todo el transcurso de mi vida estudiantil y personal, por ser el pilar fundamental de toda mi vida, mi confidente, mi profesora, mi figura a seguir y no dejarme rendir, porque con tus consejos siempre me hiciste una mejor persona y siempre me has cuidado, gracias por tu persistencia y confianza en mí.

A mi primo Antonio Chamba y a mis tíos, pero de manera especial a Lourdes García y Bolívar Quincha, quienes me acogieron en su hogar y me trataron como a una hija, aconsejándome, cuidándome y enseñándome siempre a valorar cada momento de la vida y a superar las dificultades que se presentan, siendo ustedes como mis padres.

De manera muy especial a Mariangeles Santos, Ana, Alicia, Nuria y Guillermo Estrella Santos, quienes estuvieron pendientes siempre de mi, gracias por su apoyo y cariño sincero

MARIA LUISA SALAZAR CHAMBA

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este proceso de la tesis.

A mis padres quienes me enseñaron desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas. Por sus consejos sabios y oportunos por ser el apoyo incondicional, por toda su paciencia y estar conmigo siempre en los momentos más difíciles de mi vida, para poder seguir adelante venciendo aquellos obstáculos que la vida nos pone en el camino para ser cada día más fuertes y por todo ese apoyo brindado ya que sin su ayuda moral y económica no hubiese logrado cumplir con una de tantas metas propuestas. ¡Los amo mucho!

A mis hermanos William, Freddy, Miguel, Liseth y a mis hermanitos más pequeños que nunca entendía el motivo de mis ausencias en casa, Alexander, Mishel Dalesky y Mishel Jamilet por estar conmigo siempre a pesar de la distancia. A mis abuelitos Miguel, Judith, Rosa, Francisco aunque ya no está con nosotros sé que su alma si lo está, que con su entusiasmo y cariño me dieron el valor y coraje para seguir adelante. A mi querida sobrina (caranjas) la más pequeñita de toda la familia que con todas sus travesuras, locuras, inocencia de un niño me supieron hacer reír en esos momentos de tristezas y preocupación.

Y a todos aquellos que son movidos por un gran amor a la vida y a la naturaleza, que están convencidos de que un mundo mejor es posible si se tienen los conocimientos para ayudar y el corazón para vencer.

JENY VILLARES

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo a Dios, por haberme dado la sabiduría necesaria para la realización y culminación de este proyecto que significó una prueba de conocimiento y evaluación de mis esfuerzos.

A mis padres Luis y Carmen, y de especial forma a Ti Diana, quien a lo largo de toda la vida me ha apoyado y motivado mi formación académica, creyendo en mi en todo momento y sin dudar de mis habilidades.

A la Universidad Estatal De Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, por permitirme continuar con mi preparación académica.

De manera especial mi agradecimiento leal y profundo reconocimiento al Ing. Edwin Solórzano como Director quien sin escatimar esfuerzos me apoyó desde el inicio hasta la culminación de este trabajo de investigación.

Además hago énfasis el agradecimiento a los señores Miembros del Tribunal de Calificación de Tesis Ing. Milton Barragán como Biometrista Doctor Carlos Jácome en el Área Técnica e Ing. Vicente Domínguez en el Área de Redacción Técnica por el apoyo brindado durante todo el proceso de este trabajo de investigación.

A mis amigas/os, Pauly, Jeny, Gaby, Silvy, Hugo, Jimmy, Rommel, Juan Ca. V. por siempre estar a mi lado con sus consejos, los cuales me ayudaron a superar las dificultades y no rendirme, por todos los momentos vividos de alegría y tristeza y de esparcimiento amigos de toda la vida.

MARIA LUISA SALAZAR CHAMBA

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios nuestro ser supremo quien con su bendición nos ha llevado por el camino del bien y permitirme así que continúe por el sendero de la luz, gracias por darme la fuerza necesaria para no rendirme en los tropiezos que la vida nos presenta.

A mis padres que a pesar de la distancia siempre estuvieron atentos para saber como iba mi proceso de la tesis por su apoyo de forma incondicional, por toda esa confianza puesta y ser mi ejemplo de esfuerzo y honestidad.

Gracias también a mis queridos compañeros/as, que me apoyaron y me permitieron entrar en sus vidas durante este tiempo de estudio de convivir dentro y fuera del salón de clase, mil gracias por todos los momentos buenos y malos que hemos pasado juntos y porque han estado siempre aunque solo para dar lata nunca cambien. Y en especial a mis mejores amigos/as sin excluir a ninguno Consuelo, Luisa, Christian, Lenin, Juan, Rommel, Walter, Hugo, Johana, Elizabeth, América, Jimmy una persona muy importante en mi vida.

Agradezco a la Universidad Estatal de Bolívar por brindarme la oportunidad de cumplir con una más de mis metas propuestas ya que por medio de los Docentes de la escuela de ingeniería Agroindustrial me permitieron llenar mis conocimientos para mi vida profesional. A mis maestros no solo de la Universidad sino de toda la vida estudiantil que con sus conocimientos, ayuda oportuna y desinteresada contribuyeron a la finalización de este trabajo de investigación. También a todo el tribunal de tesis por su paciencia y dedicación para la realización de la misma.

JENY VILLARES

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO		PÁGINA
I.	**INTRODUCCIÓN**	1
II.	**REVISIÓN DE LITERATURA**	4
2.1	El Biogás	4
2.2	Reseña Histórica	4
2.3	Biogás y el Ciclo Global del Carbón	6
2.4	Composición y Características	7
2.5	Procesos de Descomposición de Materia Orgánica	8
2.5.1	Descomposición Aeróbica	8
2.5.2	Descomposición Anaeróbica	9
2.6	Biodegradación Anaeróbica y sus Etapas	9
2.6.1	Etapas Intervinientes	10
2.6.1.1	Etapa de Hidrolisis ó Solubilización	10
2.6.1.2	Etapa de Acidificación ó Acidogenesis	11
2.6.1.3	Etapa de Metanogenesis ó Metanización	12
2.7	Factores que Influyen en la Digestión Anaeróbia	14
2.7.1	Tipos de Materia Prima	15
2.7.2	Temperatura Apropiada del Sustrato	17

2.7.2.1	Fermentación a Alta Temperatura	18
2.7.2.2	Fermentación a Temperatura Media (Mesofilico)	18
2.7.2.3	Fermentación a Temperatura Normal	18
2.7.3	Carga Volumétrica	18
2.7.4	Inclusión de Inoculantes	19
2.7.5	Tiempo de Retención (Tr)	20
2.7.6	pH Apropiado y Alcalinidad	20
2.7.7	Agitación	22
2.7.8	Ácidos Volátiles	22
2.7.9	Sólidos Totales y Sólidos Volátiles	22
2.7.10	Nutrientes	23
2.8	Principios de la Combustión	23
2.9	Equipos Donde el Biogás Puede ser Utilizado	24
2.10	Usos del Biogás	27
2.11	El Mercado Internacional del Biogás	29
2.11.1	Consumo Actual de Biomasa y Biogás en Europa	29
2.11.2	Biocombustible 1.7% del Consumo Mundial de Energéticos	30
2.12	Producción Estimada del Biogás	30
2.13	Los Biofertilizantes	30
2.13.1	Origen	31

2.13.2	Importancia de los Microorganismos en la Fertilidad del Suelo	31
2.13.3	Disponibilidad de Nutrientes	31
2.13.4	Utilidad de los Biofertilizantes	32
2.13.5	Aspectos Importantes en la Producción de Biofertilizantes	32
2.13.6	Relación Materia Orgánica-Agua	33
2.13.7	Frecuencia y Dosis Recomendada	33
2.14	Saccharomyces Cerevisiae	33
III.	**MATERIALES Y MÉTODOS**	35
3.1	Materiales	35
3.1.1	Ubicación	35
3.1.2	Situación Geográfica	35
3.1.3	Zona de Vida	36
3.1.4	Material Experimental	36
3.1.4.1	Inoculante	36
3.1.4.2	Material de Campo	36
3.1.4.3	Materiales de Laboratorio	37
3.1.4.4	Materiales de Oficina	37
3.1.4.5	Recursos Institucionales	38
3.2	Métodos	39

3.2.1	Factores en Estudio	39
3.2.2	Descripción del Diseño Experimental	39
3.2.3	Tipo de Diseño Experimental	40
3.2.4	Características del Experimento	41
3.2.5	Análisis Estadísticos a Realizar	41
3.3	Mediciones Experimentales	42
3.3.1	Peso Materia Prima	42
3.3.2	Análisis Físico Químico	42
3.3.2.1	Determinación de pH	42
3.3.2.2	Determinación de Temperatura	42
3.3.2.3	Determinación de Grados Brix	42
3.3,3	Análisis al Término de la Fermentación y Obtención de Biogás	43
3.3.2.1	Análisis Físico Químico	43
3.3.2.1.1	Determinación de pH	43
3.3.2.1.2	Determinación de Grados Brix	43
3.3.2.1.3	Determinación de Temperatura	44
3.3.4	Producto Terminado Biofertilizante	44
3.3.4.1	Determinación de pH	44
3.3.4.2	Determinación de Macro Elementos (N,P,K)	44
3.5	Manejo del Experimento	44

3.5.1	Recolección de la Materia Prima	45
3.5.2	Selección	45
3.5.3	Troceado	45
3.5.4	Licuado	45
3.5.5	Inoculación	46
3.5.6	Dosificación	46
3.5.7	Fermentación	46
3.5.8	Separación	46
3.5.9	Biogás	46
3.5.10	Masa Residual	47
3.5.10.1	Secado	47
3.5.10.2	Molido	47
3.5.10.3	Pesado	47
3.5.10.4	Almacenado	47
3.6	Diagrama de Flujo de Obtención de Biogás y Biofertilizante	48
IV.	**RESULTADOS Y DISCUSIONES**	49
4.1	Análisis de la Materia Prima (Lavaza)	49
4.1.1	Potencial de Hidrógeno	49
4.1.2	Grados Brix	51

4.1.3	Temperatura	53
4.2	Análisis del Sustrato al Finalizar la Fermentación y Obtención de Biogás	55
4.2.1	Potencial de Hidrógeno	55
4.2.2	Grados Brix	60
4.2.3	Temperatura	65
4.2.4	Volúmen de Gas Obtenido	69
4.2.5	Rendimiento del Biogás	73
4.3	Análisis del Biofertilizante Seco	75
4.3.1	Potencial de Hidrógeno	75
4.3.2	Análisis de Macro Elementos	77
4.3.2.1	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	77
4.4	Análisis de Correlación y Regresión Simple	79
V.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	82
VI.	**RESUMEN Y SUMMARY**	84
6.1	Resumen	84
6.2	Summary	86

VII. BIBLIOGRAFÍA 88

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No.	DETALLE	PÁGINA
1.	Características Químicas Del Biogás	7
2.	Comparación Entre Fase Acidogénica y Metanogénica	14
3.	Tipo de Bacterias en Función de la Temperatura	17
4.	Efectos del pH en la Biodigestión	21
5.	Aplicación del Biogás	24
6.	Consumo Actual de Biomasa en España	29
7.	Biogás en Europa	29
8.	Ubicación del Experimento	35
9.	Parámetros Climáticos	35

10.	Porcentajes y Días de Factores en Estudio	39
11.	Descripción del Diseño Factorial	40
12.	Características del Experimento	41
13.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable pH En La Materia Prima (Lavaza)	49
14.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Brix En La Materia Prima (Lavaza)	51
15.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Temperatura En La Materia Prima (Lavaza)	53
16.	Análisis De Varianza Para La Variable Ph Del Sustrato Al Final De La Fermentación Y Obtención De Biogás	55
17.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Ph Del Sustrato Al Final De La Fermentación	57

18.	Análisis De Varianza Para La Variable Brix Del Sustrato Al Final De La Fermentación Y Obtención De Biogás	60
19.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Brix Del Sustrato Al Final De La Fermentación	62
20.	Análisis De Varianza Para La Variable Temperatura Del Sustrato Al Final De La Fermentación Y Obtención De Biogás	65
21.	Análisis De Varianza Para La Variable Temperatura Del Sustrato Al Final De La Fermentación Y Obtención De Biogás	66
22.	Análisis De Varianza Para La Variable Volumen De Biogás	69
23.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Volumen De Obtención De Biogás	70
24.	Prueba De Tukey Al 5% Para Comparar Promedios En La Variable Ph Del Biofertilizante	75

25.	Resultado Del Análisis Químico De Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el Biofertilizante	77
26.	Correlación Y Regresión Simple Al Obtener Biogás	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO No.	DETALLE	PÁGINA
1.	Etapas Del Proceso De Digestión Anaeróbica	10
2.	Hidrolisis O Solubilidad	11
3.	Productos Finales De La Descomposición Orgánica	16
4.	Alternativas De Utilización De Un Metro Cúbico De Biogás	26
5.	Usos Del Biogás	28
6.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable pH De La Materia Prima	50
7.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Brix De La Materia Prima	52

8.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Temperatura De La Materia Prima	54
9.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable pH Del Sustrato	58
10.	Interacción AxB Para La Variable pH Del Sustrato Fermentado	59
11.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Brix Del Sustrato Fermentado	63
12.	Interacción AxB Para La Variable Brix Del Sustrato Fermentado	64
13.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Temperatura Del Sustrato Fermentado	67
14.	Interacción AxB Para La Variable Temperatura Del Sustrato Fermentado	68
15.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Volumen De Biogás	71

16.	Interacción AxB Para El Volumen De Biogás	72
17.	Prueba De Tukey Al 5% Para La Variable Ph De Biofertilizante Seco	76
18.	Cantidad En ppm De Macro Elementos En El Biofertilizante	78

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO No.

1. Croquis De Ubicación De Los Lugares de la Investigación.

2. Resultado De Medias De Las Variables Ph, °Brix Y °T En La Materia Prima.

3. Resultados De Medias De Las Variables Ph, °Brix Y °T, Al Finalizar El Tiempo De Fermentación Y Como Materia Prima Para El Biofertilizante.

4. Medias De La Variable Volumen De Biogás.

5. Análisis De Variables Ph, Brix °T, Macro Elementos Y Microelemetos En El Mejor Tratamiento Y Otros.

6. Fotografías Del Desarrollo De La Investigación.

7. Glosario.

I. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de una sociedad de consumo, la vida ciudadana genera toda clase de residuos o basura cuya recogida y posterior tratamiento han ido creciendo en importancia, debido a que hoy en día se cuenta con la tecnología necesaria para resolver esta problemática, constituyéndola en una fuente de energía nada despreciable cuando se aplican las técnicas adecuadas.

El presente trabajo tiene por finalidad resaltar la importancia del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Estos residuos constituyen la materia prima o biomasa a ser utilizada la que es el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural de la misma

Aunque los residuos o desechos puedan provenir de cualquier actividad, desde el punto de vista de su posible utilización industrial, los más importantes son los que provienen de la biomasa, es decir, lo que actualmente se denomina biomasa residual o residuos de origen vital, por cuanto que son renovables, siendo así, que son generados año tras año (Sempertegui, J.2008).

Esta materia prima es la que se procesará mediante la aplicación de un sistema anaeróbico (en ausencia de oxigeno) obteniéndose un gas (biogás) aprovechable para usos energéticos y un fertilizante orgánico que tiene un gran uso al enriquecer la tierra, al contener los nutrientes necesarios para la misma, (Hilbert, J 2003).

Los biofertilizantes o inoculantes biológicos al presentarse como una suspensión de bacterias de interés agronómico con mucha energía

equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de componentes de los desechos orgánicos disueltos en agua, caracterizados por una superpoblación de células obtenidas por fermentación ofrecerá enormes beneficios ya que además de devolver paulatinamente al suelo sus condiciones naturales originales, constituye una alternativa ecológica para reducir el uso de fertilizantes químicos, favoreciendo de esta manera la protección del suelo, vegetación y aire, obteniendo efectos positivos disminuyendo considerablemente la contaminación ambiental

Los biofertilizantes al ser abonos sirven como una alternativa muy eficiente para aprovechar dicho recurso generado por los hogares, hoteles, instituciones, restaurantes, etc.,

Debemos entender que el hecho de que el uso de biogás se haya decantado hacia la producción de electricidad más que a la de calor domestico o industrial a pesar de tener las mismas aplicaciones que el gas natural se debe a la incomparable extensión de la red eléctrica frente a la limitada red de gas.

Eso hace que prácticamente todo el gas recuperado se convierta en electricidad, mientras que en países más avanzados en esta tecnología, una parte importante se vierte a la red doméstica de gas natural. De la rentabilidad del proceso da idea el dato de que el pequeño país Neerlandés explota actualmente grandes cantidades de biogás a pesar de ser uno de los principales productores mundiales de gas natural, y con mayores reservas.

Este trabajo de investigación se lo realiza debido a que siendo el Ecuador un país con un gran potencial agrícola y partiendo del principio de energía renovable y los problemas de contaminación ambiental, no se encuentran empresas que adopten el uso de biocombustibles y en su mayoría solo existe

el uso de combustibles fósiles, provocando de esta manera una gran contaminación.

Es por eso que el presente proyecto estuvo enfocado a la obtención de biogás por medio de la descomposición de desechos domésticos urbanos gracias a la proliferación de bacterias anaeróbicas metanogénicas que los descomponen, dentro del proceso de digestión anaerobia dando como resultado un producto principalmente compuesto de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), además de otros elementos en proporciones despreciables y un efluente liquido alcalino rico en nutrientes con materia orgánica estabilizada que será utilizado como biofertilizante u abono para su uso en la agroindustria.

Además de que los biofertilizantes o inoculantes biológicos al presentarse como una suspensión de bacterias de interés agronómico, caracterizados por una superpoblación de células obtenidas por fermentación ofrecerá enormes beneficios ya que además de devolver paulatinamente al suelo sus condiciones naturales originales, constituye una alternativa ecológica para reducir el uso de fertilizantes químicos, favoreciendo de esta manera la protección del suelo, vegetación y aire, obteniendo efectos positivos disminuyendo considerablemente la contaminación ambiental.

Para la realización de esta investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el sistema de fermentación.
- Determinar el mejor tiempo de fermentación.
- Determinar el mejor porcentaje de levadura.
- Determinar el rendimiento del biogás del mejor tratamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL BIOGÁS

El biogás es un gas producido por la acción de microorganismos durante un proceso de biodegradación de materia orgánica y otros subproductos orgánicos en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Esta materia orgánica puede estar formada por materia fecal de animales como de cultivos vegetales o ambas, restos orgánicos etc., (Energías Renovables 2010).

2.2 RESEÑA HISTÓRICA

El gas natural, que en su mayor composición de metano, fue utilizado por los pueblos chinos y persas hace miles de años como generador de temperatura. Pero pasaron muchos años hasta que se dieran cuenta que el metano no solo se encontraba en el gas natural fósil, sino que se producía constantemente.

En el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Solo 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano. En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con guano de vacas. En 1888 Gayón obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, a su vez, se describieron los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano (Turzo et al, 1984).

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 (Lugones, 2000).

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 (GTZ, CVC, 1987).

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. Ésta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos (http://www.textoscientificos.com/energia/biogas).

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) (Turzo et al, 1984).

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. 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 (Ambiente Ecológico, Abril 2000).

El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo (ej.: 130 en la Comunidad Económica Europea) pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía (Hilbert J, 2003).

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento (http://www.textocientificos.com/energia/biogas).

2.3 BIOGÁS Y EL CICLO GLOBAL DEL CARBÓN

Cada año, la actividad microbiana libera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano a la atmósfera. Cerca del 90% del metano emitido proviene de la descomposición de biomasa. El resto es de origen fósil, o sea relacionado con procesos petroquímicos. La concentración de metano en la

atmósfera en el hemisferio norte es cerca de 1.65 partes por millón (Hilbert J, 2003).

2.4 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH_4), en una proporción que oscila entre un 60% a un 65% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas (Hilbert J, 2003).

TABLA No.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL BIOGÁS.

CARACTERÍSTICAS	**CH_4**	**CO_2**	**H_2-H_2S**	**OTROS**	**BIOGAS 60/40**
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico Mi/M	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico Kcal/m3	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % En Aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. Ignición En °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión Critica En Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
G/L	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad Relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. En %Aire	5-15	-	-	-	6-12

Fuente:(Razo, Edison 2007)

2.5 PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

El biogás es producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, que artificialmente se obtiene en biodigestores. Este proceso de biodegradación de materia orgánica se da por dos vías:

2.5.1 Descomposición Aeróbica.

Esta descomposición es en presencia de oxigeno por lo tanto es un proceso oxidante, el mismo que es llevado a cabo teóricamente en tres etapas:

- La oxidación de la materia orgánica.
- La nitrificación.
- La des nitrificación, con el fin de remover el nitrógeno amoniacal.

Sin embargo los dos últimos pasos son complejos y difíciles de ejecutar con este tipo de residual (Chungandro K, Y Manitio G, 2010).

En este tipo de descomposición, el oxigeno es el receptor de los electrones desprendidos en la descomposición biológica o degradación. Los organismos aerobios emplean la energía desprendida en el fenómeno de la descomposición para sus procesos de crecimiento y reproducción, y al mismo tiempo liberan una cantidad de calor (Hilbert J, 2003).

$$\Delta \text{ Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor}$$

2.5.2 Descomposición Anaeróbica.

Es, en la que el agente receptor de los electrones desprendidos de la degradación es otro compuesto distinto al oxígeno. Para el caso de la digestión anaeróbica la energía desprendida del proceso de descomposición es receptada por los enlaces de metano. La energía restante se emplea, al igual que en la descomposición aerobia, en los procesos metabólicos y en liberación de calor.

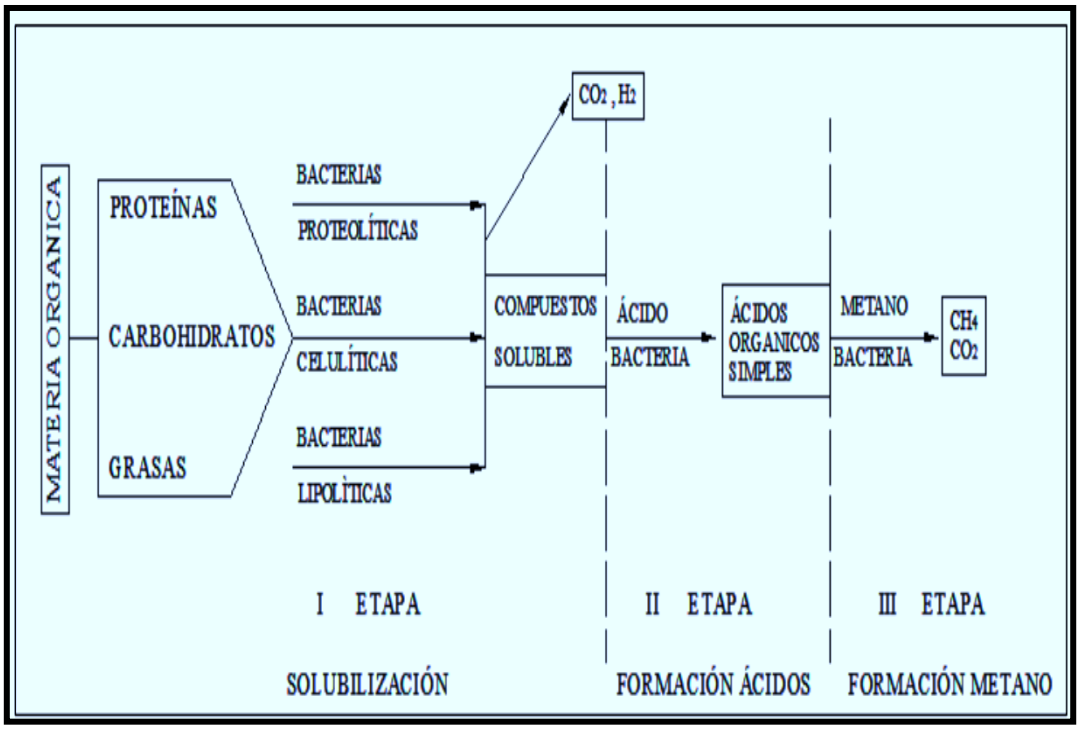
$$\Delta \text{ Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor} + CH_4$$

El biodigestor a desarrollarse, empleará éste fenómeno de biodegradación. El proceso por el cual se obtiene el biogás es una fuente de energía renovable, que se obtiene a partir de sustratos de escaso valor económico y que, además, son una fuente de contaminación y enfermedades (Hilbert J, 2003)

2.6 BIODIGESTIÓN ANAEROBICA Y SUS ETAPAS

En este proceso la materia orgánica se degrada paulatinamente para producir metano, mediante un conjunto de interacciones complejas entre distintos grupos de bacterias. En el digestor herméticamente cerrado, el oxigeno libre de la atmosfera y del agua es consumido por las bacterias aerobias, que tienden a desaparecer, y ser remplazadas por las bacterias facultativas. Las etapas intervinientes dentro del proceso de digestión anaeróbica se encuentran en el grafico 1, expuesto a continuación, (Simposio Centroamericano, 2003).

GRAFICO No. 1: ETAPAS DE LA BIODIGESTIÓN



Fuente: (Chungandro. K. y Manitio.G.2010)

2.6.1 Etapas Intervinientes

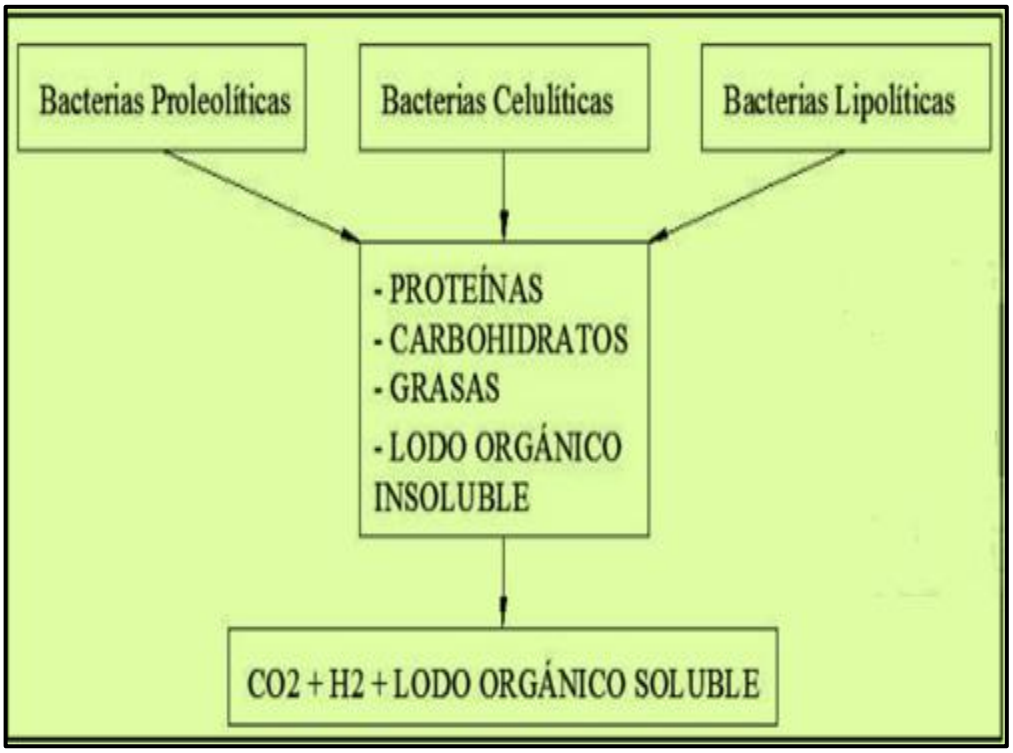
Las diferentes etapas intervinientes y sus principales características son

a) Hidrólisis
b) Acido génesis
c) Metano génesis

2.6.1.1 Etapa de Hidrólisis ó Solubilización

Esta primera etapa consiste en una mezcla de bacteria llamadas a veces formadoras de ácidos, que hidrolizan las moléculas complejas de materia orgánica para originar ácidos grasos de cadena corta y alcohol.

Grafico No. 2: HIDRÓLISIS O SOLUBILIZACIÓN



Fuente: (Chungandro. K. y Manitio.G.2010)

El material orgánico soluble resultante puede ser asimilado por la célula y por lo tanto sirve como sustrato para las bacterias de la segunda etapa.

2.6.1.2 Etapa de Acidificación ó Ácido Génesis

Los productos de la primera fase penetran en las células bacterianas, donde por medio de endoenzimas son transformados a compuestos macromoleculares tales como ácidos grasos, alcohol, etc. Las fases de hidrolisis y ácido génesis son procesos consecutivos que juntos se conocen como período no productor de metano (Sosa R, 2002)

En este período, debido a la acción conjunta de varios tipos de microorganismos, la materia prima se descompone bajo condiciones

anaeróbicas, en compuestos micro molecular simple: dióxido de carbono e hidrógeno. Ácidos de bajo peso molecular, alcohol, CO_2 e H_2 son todos sustratos para la síntesis de metano. Por lo tanto, el período no productor de metano puede verse como un proceso en el que la materia orgánica compleja es convertida en sustancias que pueden ser usadas por las bacterias productoras de metano y que son necesarias para su subsistencia y actividad normal. Los microorganismos que tienen importancia en la fase no productora de metano son especies muy diversas, dependiendo del tipo de materia prima que se desee fermentar (Simposio Centroamericano, 2003).

Las bacterias estrictamente anaeróbicas tienen un papel muy importante en este período y su población puede ser 200 ó 300 veces mayor que la de las bacterias aeróbicas facultativas y aeróbicas. La presencia de microorganismos productores de H_2 en este período es fundamental, ya que el hidrógeno debe estar presente a la hora de la producción de metano por reducción de CO_2 (Chungandro k, y Manitio G, 2010)

2.6.1.3 Etapa de Metano Génesis ó Metanización

En esta etapa los sustratos producidos son transformados a metano por la acción de un grupo particular de bacterias, que requieren de un ambiente estrictamente anaeróbico, son muy sensibles al oxígeno y a otros tipos de agentes oxidantes (Guamba J, 2005).

El metano se puede formar de 3 maneras mediante el metabolismo bacteriano, que son las siguientes:

Fermentación del ácido acético:

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

Fermentación del ácido propiónico:

1era. Etapa

$$CH_3CH_2COOH + ½\ H_2O \rightarrow CH_3COOH + ¾\ CH_4 + ¼\ CO_2$$

2da. Etapa

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

Reducción del dióxido de carbono:

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

El producto final puede llegar a tener un 60% de metano y un 40% de CO_2 dependiendo estos valores de la calidad de la materia prima. Dependientes uno de otro, los tres períodos de fermentación anaeróbica son procesos sucesivos y mantienen un balance dinámico. Cualquier desequilibrio puede incluso detener el proceso (Gunnerson y Stukey, 1990).

Los microorganismos que intervienen en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor. Estas características han sido resumidas en la siguiente tabla para su mejor comprensión (Manual para la producción de biogás, 2010).

TABLA NO. 2: COMPARACIÓN NTRE FASES ACIDOGÉNICA Y METANOGÉNICAS.

Fase acidogénica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva).	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

Fuente: (Manual para la producción de biogás 2010)

Del cuadro anterior se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica de forma significativa, lo cual disminuirá la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total del proceso.

2.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

A la actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (Hilbert J, 2003).

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes: tipo de sustrato (nutrientes disponibles, materia prima), temperatura del sustrato, la carga volumétrica, tiempo de retención, nivel de acidez (pH), relación Carbono/Nitrógeno (C/N), concentración del sustrato, el agregado de inoculantes, grado de mezclado, presencia de compuestos inhibidores del proceso, nutrientes y toxicidad (Manual para la producción de biogás, 2010).

2.7.1 Tipo de Materia Prima

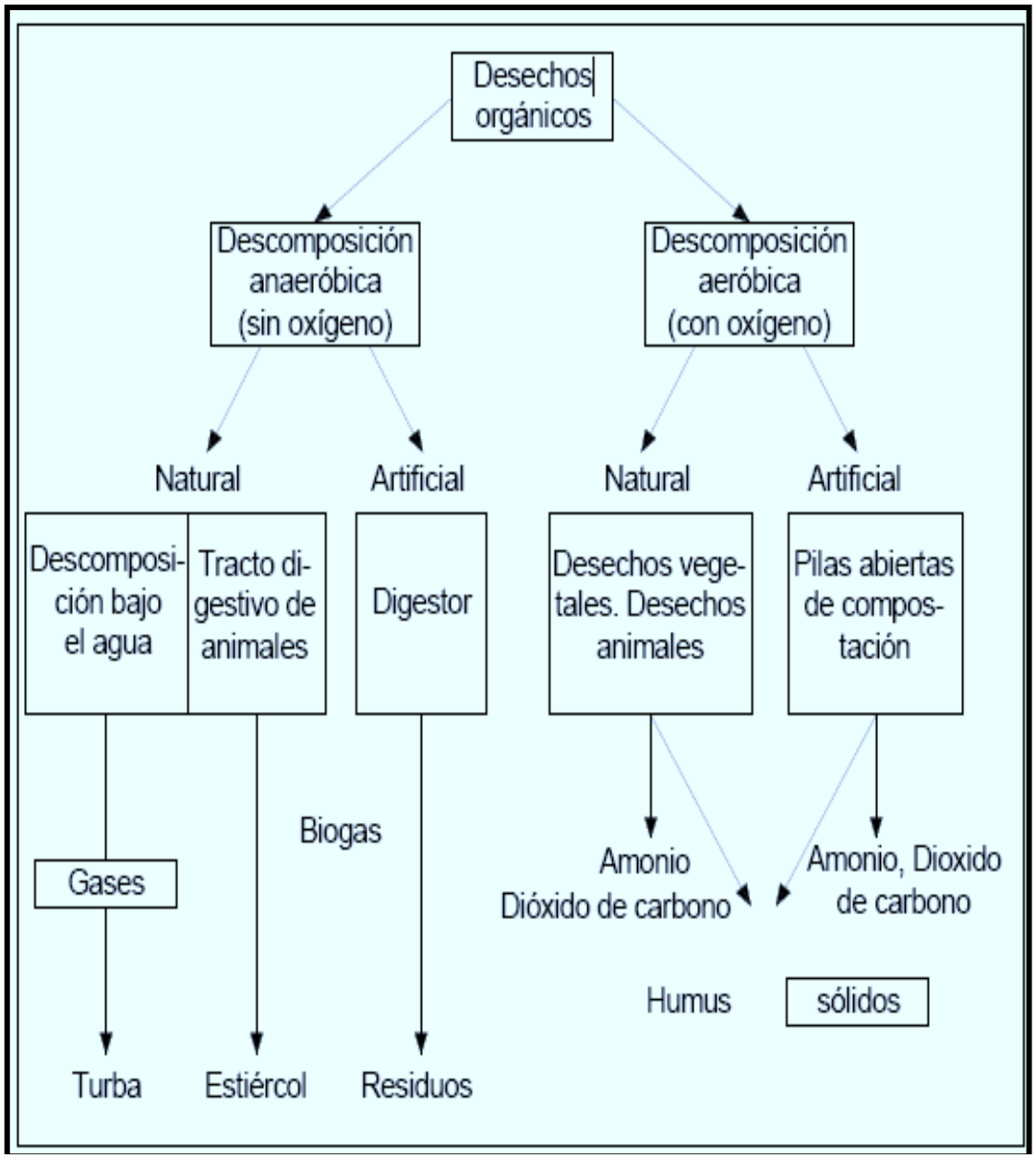
Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (Hilbert J, 2003).

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. (Razo E. y Villafuerte M, 2007).

GRÁFICO No.3: PRODUCTOS FINALES DE LA DESCOMPOSICIÓN ORGÁNICA.



Fuente: (Razo, E Y Villafuerte, 2007)

2.7.2 Temperatura Apropiada del Sustrato.

La temperatura afecta directamente la tasa de producción de biogás. Este puede ser producido a cualquier temperatura entre los 5°C, y los 60°C. La digestión es más rápida y más completa a temperaturas elevadas, el intervalo de 30 – 40 °C es adecuado para la velocidad de digestión y la estabilidad del digestor.

La temperatura elegida no debe oscilar en un intervalo mayor de cinco grados. En climas fríos gran parte de la energía producida se consume para mantener caliente el digestor y aumentar la temperatura del sustrato, pudiendo representar las ¾ partes de producción de gas (Manual para la producción de biogás, 2010).

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 10°C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 60 a 75°C, como se puede observar en:

TABLA No. 3: TIPO DE BACTERIAS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS °C	SENSIBILIDAD °C/h	TIEMPO DE RETENCIÓN Días
Psicrofilas	4 – 15	± 2	Más de 100
Mesófitas	15 – 40	±1	30 – 60
Termófilas	40 – 75	±0,5	10 – 16

Fuente: (Chungandro. K. y Manitio.G.2010)

2.7.2.1 Fermentación a Alta Temperatura

En un rango de temperatura entre los 47 y 55°C la producción de gas puede llegar a ser de 2 a 2.5 m^3 de gas. Este proceso, llamado "hemofílico", es de alta eficiencia pero no muy económico desde el punto de vista de energía requerida para calentar y mantener el digestor dentro del rango de temperatura antes mencionado. Además la materia prima sería digerida mucho más rápido por lo que se necesita mucha cantidad de desechos. (Hilbert J, 2010)

2.7.2.2 Fermentación a Temperatura Media (mesofílíco)

A temperaturas entre los 35 y 38°C la producción diaria de gas puede estar entre 1 y 1.5 m^3 de gas.

2.7.2.3 Fermentación a Temperatura Normal

Si la temperatura dentro del digestor se encuentra entre los 22 y 28°C, se puede obtener un promedio de 0.2 - 0.5 m^3 de gas. Si la temperatura es inferior a los 22°C la producción puede descender hasta 0.15 m^3 por volumen de digestor. De manera que, a estas temperaturas, se deben tomar medidas efectivas para calentar el digestor y obtener una mayor producción de metano.

2.7.3 Carga Volumétrica

La carga volumétrica es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención hidráulico, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Con la siguiente

expresión se puede calcular la carga volumétrica (manual para la producción de biogás, 2010).

$$CV = \left(\frac{1}{TRH}\right)(C_1)$$

Donde:

CV = Es la carga volumétrica
THR = Tiempo de retención hidráulico (día)
C = Es la concentración del efluente en (Kg.)

El CV usualmente se expresa en:

- Kg. de materia/m^3día
- Kg. de materia seca/m^3seca
- Kg. de sólidos volátiles/m^3dia

2.7.4 Inclusión de Inoculantes

El crecimiento de bacterias en el interior de los digestores posee tres etapas:

I. Arranque
II. Estabilización.
III. Declinación.

En la primera etapa, el tiempo de retención (TR) puede ser disminuido por la inclusión de material de otro digestor que provea de bacterias y acelere el

proceso de fermentación, esto se puede usar en digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

En la segunda etapa, se produce una cierta estabilización, logrando una mayor producción de biogás por kilogramo de residual. Y finalmente la última zona indica el decaimiento de producción de gas.

Por lo tanto existen dos factores que deben ser tomados en cuenta en la inoculación de un digestor que son; la proporción en que se agrada la inclusión y la edad del digestor. Por lo que a mayor proporción y menor edad, la eficacia será mayor (Ortega M, 2006).

2.7.5 Tiempo de Retención (Tr)

Como el proceso de producción de gas es lento, mientras más tiempo están las sustancias descargadas en el biodigestor, mayor será la producción de gas en términos absolutos por unidad de sustrato. De esta manera existen dos parámetros para calcular el tiempo de retención:

- Tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRSB).
- Tiempo de retención hidráulico (TRH).

2.7.6 pH Apropiado y Alcalinidad

El pH dentro del digestor tiene un impacto muy importante en la actividad biológica de las bacterias productoras de gas. El proceso normal requiere un valor de pH constante, aproximadamente neutro (pH 7) o ligeramente mayor y esto se logra mediante la acción del bicarbonato de sodio. Si el pH desciende de valores inferiores a 7 la producción de metano decrece notablemente (Yongfu Et Al, 2005).

Una vez que se ha llenado el digestor, el tiempo que dura para obtenerse el pH adecuado depende de la temperatura, la clase y la cantidad de materia prima utilizada.

Una mezcla inadecuada de materiales o métodos de manejo inapropiados harían que los ácidos volátiles se acumulen en gran cantidad, resultando en una caída del valor de pH. La operación normal del biodigestor se alteraría y por tanto la producción de gas se reduciría. En tales casos se debe reajustar el pH.

TABLA No. 4: EFECTOS DEL PH EN LA BIODIGESTIÓN.

pH	Efecto
7 – 7,6	Optimo
$\leq$ 6,2	Retarda la acidificación
$\geq$ 7,6	Retarda la armonización

Fuente: (El Biogás y Sus Aplicaciones; 2002)

Para el control de las variaciones del pH en el biodigestor, existen dos métodos de control.

Una de las formas para controlar el pH consiste en usar bicarbonato de sodio para evitar las precipitaciones del bicarbonato de calcio, sin embargo este material resulta un poco costoso, pero también podríamos agregar agua con cal.

2.7.7 Agitación

Un aumento en la producción de gas está relacionado con la agitación frecuente de la mezcla. Cuando la mezcla está en reposo se pueden diferenciar en ella tres capas:

La capa superior o nata en donde hay todavía mucha materia prima pero pocas especies de bacterias para fermentación. Si esta nata es muy espesa el paso de gas se ve bloqueado. La capa intermedia está constituida por gran cantidad de agua y poca materia prima. La capa del fondo formada por los desechos de sedimentación, y en la que tanto la materia prima como las bacterias son abundantes (Ortega M, 2006).

2.7.8 Ácidos Volátiles

La determinación de los ácidos volátiles indica cuánto alimento hay disponible para la formación de metano. Sin embargo una excesiva cantidad de ácidos pueden envenenar la mezcla y reducir el pH, disminuyendo así la producción de biogás. Si la razón, alcalinidad: ácidos volátiles, está sobre dos, el bicarbonato puede neutralizar los ácidos en el digestor previniendo una caída en el pH (Razo E. y Villafuerte M, 2007).

2.7.9 Sólidos Totales y Sólidos Volátiles

Los sólidos totales representan la porción seca de la materia prima. Los sólidos volátiles son la porción de materia orgánica volátil contenida en los sólidos totales. La determinación de estos dos factores es importante para obtener las materias primas apropiadas para el digestor porque de ello dependerá el potencial de producción de biogás (Botero, R. y Preston, T. 2007).

2.7.10 Nutrientes

La concentración requerida para las bacterias metano génica requiere de contenidos de N, P y otros factores, por lo tanto una variación de estos elementos puede alterar el proceso. Es así que los materiales con alto contenido de Nitrógeno, tales como las excretas de animales, se descomponen fácilmente y producen biogás de una forma rápida, por lo que el periodo de fermentación es corto.

Mientras tanto la descomposición de materiales con un alto contenido de carbono es más lento, pero el periodo fermentativo es más largo. Por lo tanto los materiales con diferentes proporciones de carbono/nitrógeno (C/N) difieren ampliamente en sus rendimientos en biogás (Restrepo J, 2007).

2.8 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO_2 y agua, H_2O. La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas.

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2$$

$$2H_2S + 3O_2 \longrightarrow 2SO_2 + 2H_2O$$

$$CO_2 \longrightarrow CO_2$$

2.9 EQUIPOS DONDE EL BIOGÁS PUEDE SER UTILIZADO.

En la Tabla No. 5 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás, su consumo medio y su eficiencia.

TABLA No. 5: APLICACIONES DEL BIOGÁS

ARTEFACTO	CONSUMO MEDIO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 – 600 l/h	50 – 60
Lámpara (60W)	120 – 170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	30 – 75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0.5 m2/kWh o Hph	25 – 30
Quemador de 10 Kw	2 m2/h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99
Congelador	0.5 m/kWh	Hasta 90

Fuente: (Simposio Centroamericano, 2003)

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando o disminuyendo el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisoria e interesante su utilización a gran escala, en especial en nuestro país.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan. Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y

distribuido a lo largo de las 24horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas (Yongfu Et Al, 2005).

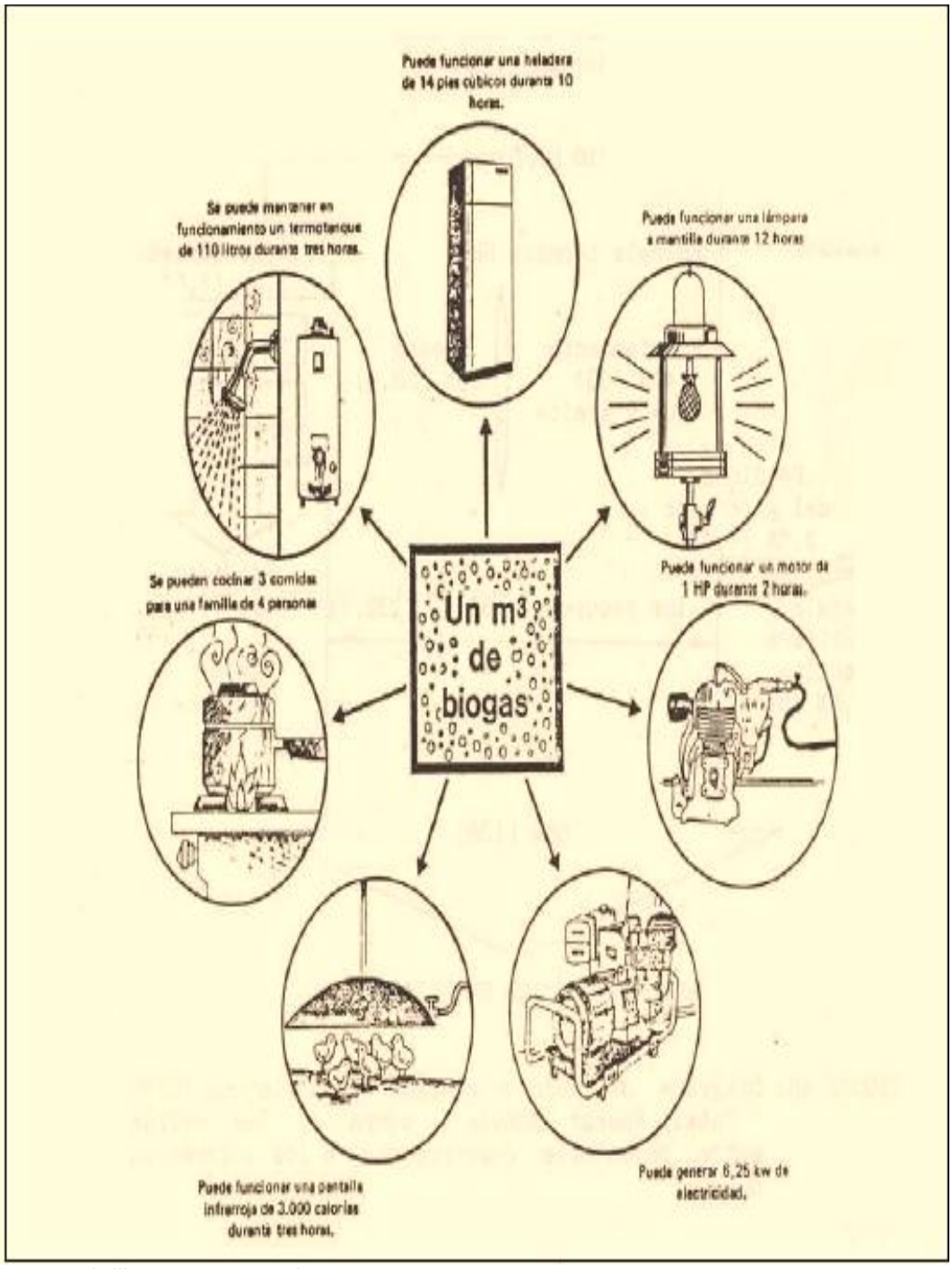
Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criaderos y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia, lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto naftenos como diesel.

El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido (Ortega M, 2006).

En los motores de Ciclo Otto, el carburador convencional es remplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás, con una merma de la potencia máxima del20% al 30%. A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control, manteniendo el sistema de inyección convencional (Botero R. y Preston T, 2007).

De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás y diesel, así también pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. Se ha observado que la proporción de H_2S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

GRÁFICO No. 4. ALTERNATIVAS DE UTILIZACIÓN DE UN METRO CÚBICO DE BIOGÁS.



Fuente: (Hilbert Jorge, 2003)

Un capítulo aparte merecen los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás (Restrepo J, 2007).

En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad, al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías. El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo (Botero R. y Preston T, 2007).

A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión. La conversión de los motores es cara y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos (Hilbert J, 2003).

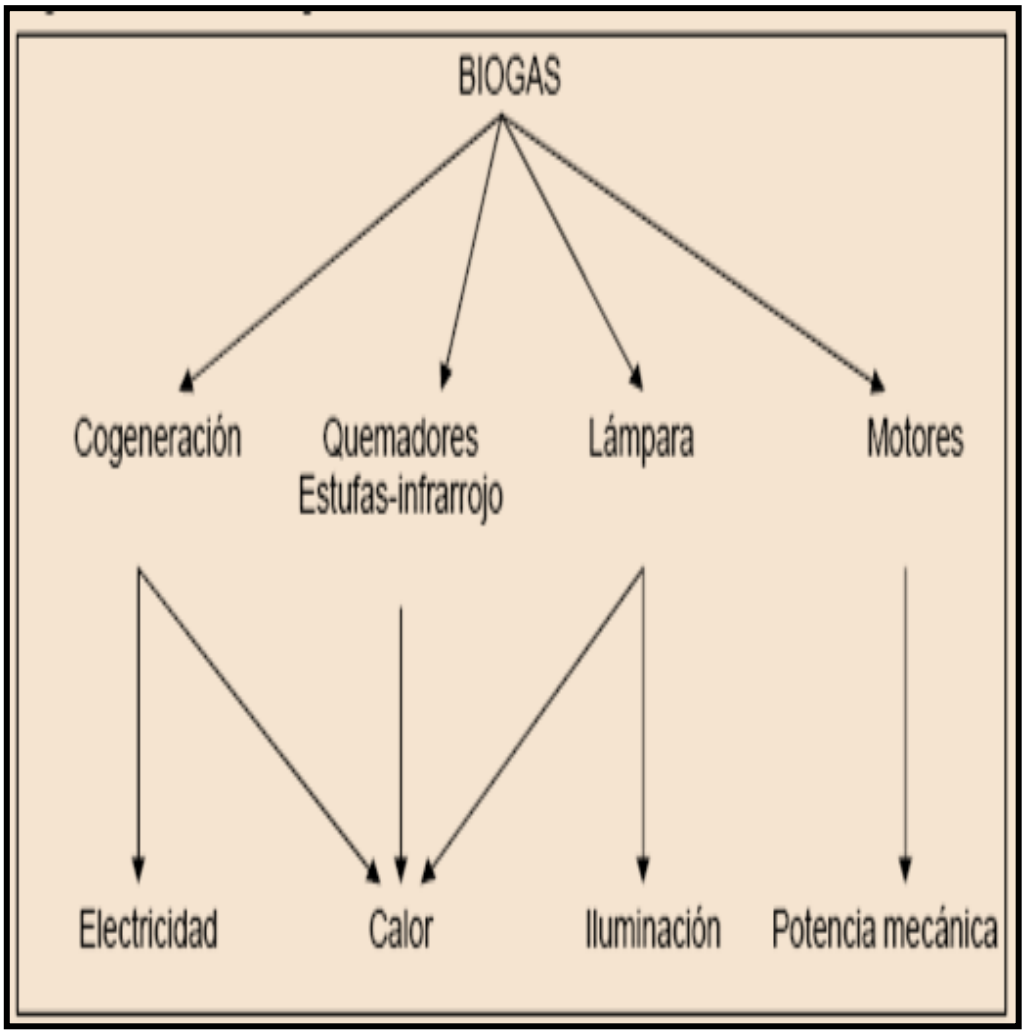
2.10 USOS DEL BIOGÁS

Existen múltiples usos del biogás así por ejemplo se indica que un metro cubico de biogás totalmente combustionado es suficiente para generar 1.25

kw/h de electricidad, generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt, poner a funcionar un refrigerador de $1m^3$ (Beteta H.T, 2002).

Claro que este también puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso como gas natural.

GRÁFICO No. 5: USOS DEL BIOGÁS



Fuente: (Hilbert Jorge, Argentina, 2003)

2.11 EL MERCADO INTERNACIONAL DEL BIOGAS

2.11.1 Consumo Actual de Biomasa y Biogás en Europa

TABLA No. 6. CONSUMO ACTUAL DE BIOMASA ESPAÑA

Consumo total de biomasa en España (tep)			
AÑO	Usos térmicos	Usos eléctricos	Total
1998	3.299.170	269.258	3.568.428
1999	3.316.929	271.528	3.588.457
2000	3.339.553	277.084	3.616.637
2001	3.352.039	312.227	3.664.266
2010	4.376.000	1.896.800	6.272.800

Fuente: (Ministerio De Educación Y Ciencia, España 2004)

TABLA No. 7: BIOGÁS EN EUROPA

PAÍS	Prod. 2001	Prod.2002	Crecimiento
Reino Unido	904	952	5.3%
Alemania	600	659	9.8%
Francia	276	310	12.3%
España	134	168	25.4%
Italia	153	155	1.3%
Holanda	161	134	-16.8%
Suecia	112	115	2.7%
Dinamarca	73	62	-15.1%
Austria	56	59	5.4%
Finlandia	18	18	0.0%
TOTAL	2596	2762	6.4%

Fuente: (Ministerio De Educación Y Ciencia, España 2004)

2.11.2 Biocombustibles 1.7% del Consumo Mundial de Energéticos

La producción de biocombustibles representa el 1.7 por ciento del consumo mundial de energéticos, y ésta podría incrementarse hasta alcanzar 20 puntos porcentuales en el 2020.

2.12 PRODUCCIÓN ESTIMADA DE BIOGÁS

La materia prima (substrato) a ser utilizada la constituye la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Para cuantificar las cantidades de biogás y bioabono que se generan en la biodegradación, haremos uso del principio de conservación de masa así como el factor que indica que 1000kg de residuos orgánicos generan 140m3 de biogás, valor obtenido por investigadores en Europa y otros lugares del mundo (Sánchez y Pazmiño, 2007).

Datos útiles:

- 1000kg de residuos orgánicos producen 140m3 de biogás.
- Mezcla ideal 1kg de agua por 1kg de residuo orgánico.
- Temperatura promedio del medio 30°C
- Presión 1 atm.
- Densidad del agua 1000kg/m3

2.13 LOS BIOFERTILIZANTES

Son abonos líquidos o sólidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de estiércoles disueltos o de igual manera de residuos orgánicos disueltos en agua en proporción de 2 partes de residuos y una parte de agua bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecidos

con harina de rocas molidas o algunas sales minerales como los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc. (Restrepo, 2007).

2.13.1 Origen

El inicio de la década de los años 80 viene revolucionando toda Latinoamérica. La forma de hacer este biofertilizante fue ideada por el agricultor Delvino Magro con el apoyo de Sebastián Pinheriro, de la Juquira Candiru Satyagraha en Rio Grande Do Sul-Brasil, con cedes en Colombia y México.

2.13.2 Importancia de los Microorganismos en la Fertilidad del Suelo

Se dice que un suelo es fértil cuando brinda a las plantas buenas condiciones para su desarrollo. La fertilidad de un suelo depende de la manera en que se relacionan sus características físicas, químicas y biológicas. Un suelo rico en materia orgánica y microorganismos es un indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes, pues, la fricción biótica de la materia orgánica, formada por organismos vivos, desempeña un papel fundamental en los suelos, al ser la última responsable del estado de la materia orgánica, y en general, del desarrollo y funcionalidad del ecosistema terrestre (Suquilanda, 2000)

2.13.3 Disponibilidad de Nutrimentos

El efecto más importante de los abonos orgánicos es conocer la velocidad con que los nutrimentos son entregados al ambiente, ya que de ello depende la eficiencia en la sincronización demanda – oferta y la disminución de las perdidas por lixiviación. La liberación de nutrimentos al suelo a partir de los residuos organicosesta en función de la fragmentación, mineralización y

humificación en cambio la descomposición está determinada por diversos factores, en orden jerárquico: clima (principalmente temperatura y humedad), propiedades del suelo (minero logia de las arcillas especialmente), calidad de los materiales (relación C/N, contenidos de poli fenoles y lignina) y actividad de invertebrados (Soto G, 2004).

2.13.4 Utilidad de los Biofertilizantes

Sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al mismo tiempo que sirven para estimular la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Por otro lado, sirven para disminuir los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy costosos y vuelven dependientes a los agricultores (Restrepo, 2007)

2.13.5 Aspectos Importantes en la Producción de Biofertilizantes

No existe una formula estándar para la producción de biofertilizantes. Recetas variadas van siendo testadas e utilizadas por investigadores para fines diversos, especialmente en La China y La India, quienes son los mayores productores y consumidores de esta tecnología con más de 150 mil unidades instaladas, incluyendo la producción de biogás (gas metano CH_4). Los biofertilizantes vienen siendo utilizados en cultivos como: manzana, pera, uva, tomate, papas, hortalizas en general, etc.

Un factor limitante para una buena fermentación puede estar asociado a la contaminación o alteración brusca del compuesto, o cuando hay algún componente químico que este interviniendo. Por esta razón la adición de micronutrientes debe ser tratada de la manera más lenta posible, ya que esta práctica a la final puede tornarse inviable (Mairelles, 2000).

2.13.6 Relación Materia Orgánica – Agua

La cantidad de materia orgánica varía de acuerdo a su origen con respecto al agua, pero se puede trabajar en concentraciones de 50% -50%, o de 25% - 75% respectivamente, dependiendo de la disponibilidad de la materia prima, aunque lo más recomendable es utilizar 1/3 materia orgánica y 2/3 de agua, dejando siempre un espacio de 10 a 20 cm, en el borde superior del recipiente (Restrepo, 2007).

2.13.7 Frecuencia y Dosis Recomendada

La frecuencia con que se aplican los biofertilizantes es muy variada y se deben considerar algunos aspectos, entres estos tipos de cultivo, estado de

desarrollo del cultivo, tipo de suelo y cobertura del mismo, etc., para las hortalizas trasplantadas al campo se recomienda de tres hasta seis aplicaciones del biofertilizante, en concentraciones que pueden variar entre el 3% y el 7% cuando es al follaje, y hasta el 25% cuando es aplicado al suelo, cabe mencionar que el mismo estar húmedo (Rivera, 2005)

2.14 Saccharomyces cerevisiae

Es uno de los modelos más adecuados para el estudio de problemas biológicos. Es un sistema eucariota, con una complejidad sólo ligeramente superior a la de la bacteria pero que comparte con ella muchas de sus ventajas técnicas. Además de su rápido crecimiento, la dispersión de las células y la facilidad con que se replican cultivos y aíslan mutantes, destaca por un sencillo y versátil sistema de transformación de ADN. Por otro lado, la ausencia de patogenicidad permite su manipulación con las mínimas precauciones (Martin A, 2005)

Las levaduras pueden ser haploides o diploides según el estadio del ciclo. No obstante, ambos tipos celulares son estables y se pueden reproducir de forma asexual mediante mitosis. La división es por gemación, es decir, las células hijas son de tamaño inferior al de las células madre.

Como ya se ha comentado antes, sólo las células haploides se pueden reproducir sexualmente, por lo que si una célula de tipo a se encuentra con una célula de tipo α se fusionarán en una sola célula, la cual también sufrirá una fusión de núcleos, formándose un diploide estable que también es capaz de reproducirse de forma asexual.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación

El presente proyecto se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal de Bolívar que está ubicada en la parroquia Guanujo Sector Alpachaca, Avenida Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira s/n Vía Ambato, Ciudad de Guaranda, Provincia Bolívar.

TABLA No. 8: UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

UBICACIÓN	LOCALIDAD
Provincia	Bolívar
Cantón	Guaranda
Parroquia	Guanujo
Sector	Alpachaca
Dirección	Av. Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira s/n

3.1.2 Situación Geográfica Y Climática

TABLA No. 9: PARÁMETROS CLIMÁTICOS

PARÁMETROS CLIMÁTICOS	LOCALIDAD
Altitud	2800 msnm
Latitud	01°34'15"
Longitud	79°0'02"
Temperatura máxima	18°C
Temperatura mínima	8°C
Temperatura media anual	13°C
Humedad relativa	75%

Fuente: (Estación Meteorológico Facultad de Ciencias Agropecuarias U.E.B 2009.)

3.1.3 Zona de Vida

De acuerdo con la clasificación de la zona de vida de L. Holdridge, el sitio corresponde a la formación bosque húmedo Montano Bajo.

3.1.4 Material Experimental

En la presente investigación se utilizó el siguiente material experimental: desechos domésticos urbanos provenientes de frutas, hortalizas, tubérculos, restos animales, restos de cereales recolectados en la ciudad de Guaranda.

3.1.4.1 Inoculante

- Levadura (Saccharomyces Cerevisiae)

3.1.4.2 Materiales de Campo

- Balanza mono plato
- Balanza analítica
- Balanza digital
- Jarra de medida 2 lt.
- Recipientes de plástico de 5 y 6lt.
- Jeringas de 60 ml para recolección de gas
- Mangueras de plástico
- Equipo de venoclisis
- Silicona
- Cuchillo
- Licuadora
- Ligas

- Cámara fotográfica.
- Uniforme (mandil, guantes, mascarilla, botas)
- Jeringas de 60 ml para recolección de gas
- Fundas ziploc
- Frascos de polietileno para muestras de sustratos secos

3.1.4.3 Materiales de Laboratorio

- Brixómetro
- Vasos de precipitación
- pH metro
- Termómetro
- Vidrio reloj
- Varilla de agitación
- Morteros
- Set Colorimétrico de la Motte

3.1.4.4 Materiales de Oficina

- Computadora
- Flash memory
- Cuaderno
- Lápiz
- Regla
- Borrador
- Papel bomm
- CD
- Escritorio
- Carpetas

- Calculadora
- Esferográficos
- Libros
- Impresora

3.1.4.5 Recursos Institucionales

Para la presente investigación se procedió a recopilar información primaria y secundaria en:

- Biblioteca de la Escuela Politécnica Nacional.
- Biblioteca de la Escuela Politécnica Del Litoral
- Biblioteca de la Universidad Técnica Del Norte.
- Biblioteca De La Universidad Estatal De Bolívar.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
- Ministerio De Agricultura Ganadería Y Pesca (MAGAP).
- Sitios Web (Internet).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Factores en Estudio

En el presente proyecto se investigó los mejores tiempos de fermentación y porcentajes de levadura para la obtención de biogás y biofertilizante, como podemos observar en la siguiente tabla:

TABLA No. 8. PORCENTAJES Y DÍAS DE FACTORES EN ESTUDIO

FACTOR	CODIGO	DESCRIPCION DE LOS NIVELES
A	A_1	30 DIAS
TIEMPOS DE	A_2	40 DIAS
FERMENTACIÓN	A_3	50 DIAS
B	B_1	3 POR CIENTO
PORCENTAJES DE	B_2	5 POR CIENTO
LEVADURA	B_3	7 POR CIENTO

Fuente: (Autoras: Salazar L, Villares J, 2011)

3.2.2 Descripción del Diseño Experimental

La combinación de tiempos de fermentación y porcentajes de levadura según el siguiente detalle:

TABLA No. 11. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL

Tratamientos	Código	Detalle: Días Vs. Porcentaje	Repeticiones	Tamaño Lb
T_1	A_1B_1	30dias+3%	3	4
T_2	A_1B_2	30dias+5%	3	4
T_3	A_1B_3	30dias+7%	3	4
T_4	A_2B_1	40dias+3%	3	4
T_5	A_2B_2	40dias+5%	3	4
T_6	A_2B_3	40dias+7%	3	4
T_7	A_3B_1	50dias+3%	3	4
T_8	A_3B_2	50dias+5%	3	4
T_9	A_3B_3	50dias+7%	3	4

Fuente: (Autoras Salazar L, Villares J, 2011)

3.2.3 Tipo de Diseño Experimental

Para verificar la influencia del tiempo de fermentación con respecto a la cantidad de levadura en la presente investigación se aplicó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) de A * B y con 3 repeticiones.

3.2.4 TABLA No. 12. Características del Experimento

Fuente de Variación		Grados de libertad
Tratamientos	(abr-1)	26
Factor A	(a-1)	2
Factor B	(b-1)	2
A x B	(a-1)(b-1)	4
Repeticiones	(r-1)	2
Error	(ab-1)(r-1)	16

Fuente: (Autoras Salazar L, Villares J, 2011)

Factor de estudio: (fe)= 2

Tratamientos:(t)= 9

Repeticiones: (r)=3

a*b*r= 3*3*3 = 27

3.2.5 Análisis Estadísticos Realizados

Los análisis estadísticos se realizaron mediante la prueba de Tukey al 5%:

- Comparación de promedio de los tratamientos.
- Coeficiente de correlación y regresión simple.
- Comparación de factores A*B.
- Cálculo del rendimiento del mejor tratamiento.

Los datos obtenidos fueron procesados en los programas informáticos INFOSTAT, STATGRAPHICS y Microsoft Excel 2010.

3.3 MEDICIONES EXPERIMENTALES

Durante la investigación se evaluaron los siguientes datos:

3.3.1 Peso Materia Prima (Lavaza)

Para el desarrollo de la investigación se recolectó, homogenizó y se pesó en una cantidad de 4 lbs por cada unidad experimental, totalizando 108 lbs ó 49 kg.

3.3.2 Análisis Físico Químico

3.3.2.1 Determinación del Potencial de Hidrogeno (pH)

Utilizando el pH-metro y las cintas colorimétricas de pH observamos con que pH empezó el proceso de fermentación de los desechos domésticos urbanos en los biodigestores elaborados, determinando en una escala promedio de 6,17.

3.3.2.2 Determinación de Temperatura (°T)

Con el termómetro digital y de mercurio (escala -20 a 100 °C) medimos la temperatura con la que empezó el proceso fermentativo dentro de los biodigestores, iniciando con un valor de 11,76 °C.

3.3.2.3 Determinación de Grados Brix (°Bx)

Para conocer la cantidad de solidos solubles presentes dentro del sustrato, expresados en porcentaje de sacarosa, utilizamos el Brixómetro, con el cual conocimos el porcentaje de azúcar con el que empezó el proceso

fermentativo y por ende el alimento con el que trabajó la levadura en su proceso fermentativo, siendo este de 2,12 °Bx.

3.3.3 Análisis al Término de la Fermentación y Obtención de Biogás.

Luego de la etapa de experimentación se procedió a realizar los análisis del producto.

3.3.3.1 Análisis Físico Químico

Este análisis se realizó al momento de la obtención de biogás para analizar el estado de la materia degradada durante la fermentación y se midieron las siguientes variables:

3.3.3.1.1. Determinación del Potencial de Hidrogeno (pH)

Con el uso del pH-metro medimos cual fue el potencial de hidrogeno con el que terminó el proceso fermentativo, y se obtuvo el biogás, finalizando con un valor de 5,64.

3.3.3.1.2 Determinación de Grados Brix (°Bx)

Con el uso del Brixómetro medimos dentro del sustrato fermentado la cantidad de sólidos totales presentes, expresados en porcentajes de sacarosa, para conocer si la levadura consumió todo el azúcar del sustrato utilizado finalizando con un valor de 3,14°Bx.

3.3.3.1.3 Determinación de Temperatura (°T)

Medimos con el termómetro digital la temperatura durante todo el proceso de fermentación y al final para saber con qué temperatura terminaron de trabajar las bacterias metanogénicas produciendo el biogás, teniendo un valor final promedio de 17,50°C.

3.3.1 Producto Terminado Biofertilizante

3.3.4.1 Determinación de Potencial de Hidrogeno (pH)

Con el potenciómetro medimos el pH del sustrato una vez seco y molido para saber su alcalinidad si es o no aceptable para el uso en el suelo o aplicación en plantas, teniendo un valor promedio de todos los tratamientos de 5,44.

3.3.4.2 Determinación de Macro Elementos (N, P, K)

El equipo químico para determinación de macro elementos dentro del biofertilizante que usamos es de la Motte suelos realizamos la determinación de nitrógeno con un valor de 51 ppm, fosforo con un valor de 100 ppm y potasio con un valor de 110 ppm, siendo estos los principales macro elementos.

3.5 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Para la obtención de biogás y biofertilizante con los diferentes tiempos de fermentación y porcentajes de levadura seguimos la siguiente descripción de obtención de los mismos:

3.5.1 Recolección de la Materia Prima

Se procedió a recolectar los desechos orgánicos domésticos que obtuvimos de los diferentes lugares de la ciudad de Guaranda, como son restaurantes y casas, estos restos comprendieron desechos de cereales, frutas, hortalizas, animales, etc.

3.5.2 Selección

Verificamos que no haya materiales inadecuados como desechos inorgánicos tales como piedras, plásticos, o cosas que no se degradan fácilmente como son huesos, a demás de desechos que no servían para nuestro fin.

3.5.3 Troceado

Para un fácil y posterior licuado de los desechos primero los cortamos en pedazos más pequeños pues dentro de los desechos se encontraba lo que son cascaras de frutas, leguminosas y otras.

3.5.4 Licuado

Después del troceado y con una ligera cantidad de agua procedimos a licuar todos los desechos orgánicos para facilitar su fermentación y por ende la degradación de la masa solida.

3.5.5 Inoculación

Una vez pesada la levadura y activada con el agua caliente y ya separado el sustrato para cada tratamiento con su respectiva repetición, procedimos a colocar la cantidad correcta de cada tratamiento

3.5.6 Dosificación

Después de la inoculación se procedió a llenar los envases con la ayuda de una jarra de 2 lt se puso las cuatro libras por cada unidad experimental,

3.5.7 Fermentación

Dejamos pasar el tiempo necesario por cada tratamiento como se realizó el diseño, durante este tiempo procedimos a realizar las mediciones tanto de °Brix, °T y pH, y el sustrato se fermento y actuó con la levadura inoculada.

3.5.8 Separación

Se procedió a separar lo que es el gas por medio de una manguera, una vez que empezó el proceso de fermentación esta fue adaptada a otro envase para su recolección y el sustrato una vez terminado el proceso de fermentación quedó en los envases. Eliminando el residuo liquido.

3.5.9 Biogás

Al biogás recolectado en las jeringas de 60 ml se le llevó a la llama para poder verificar si este se prendía y así confirmamos que en toda su composición si había metano.

3.5.10 Masa Residual

El contenido que nos quedo en los biodigestores después de ser filtrado es la masa residual que utilizamos como fertilizante, la que filtramos del residual líquido, quedando el sólido para proceder al secado.

3.5.10.1 Secado

Una vez que la masa residual solida se separó del líquido se procedió a secarla al sol, extendiéndola sobre papel periódico hasta que esté completamente seca.

3.5.10.2 Molido

Para poder hacer al fertilizante más asimilable y para poder realizar los análisis de laboratorio, procedimos a moler en un mortero hasta que se volvió este lo más fino posible.

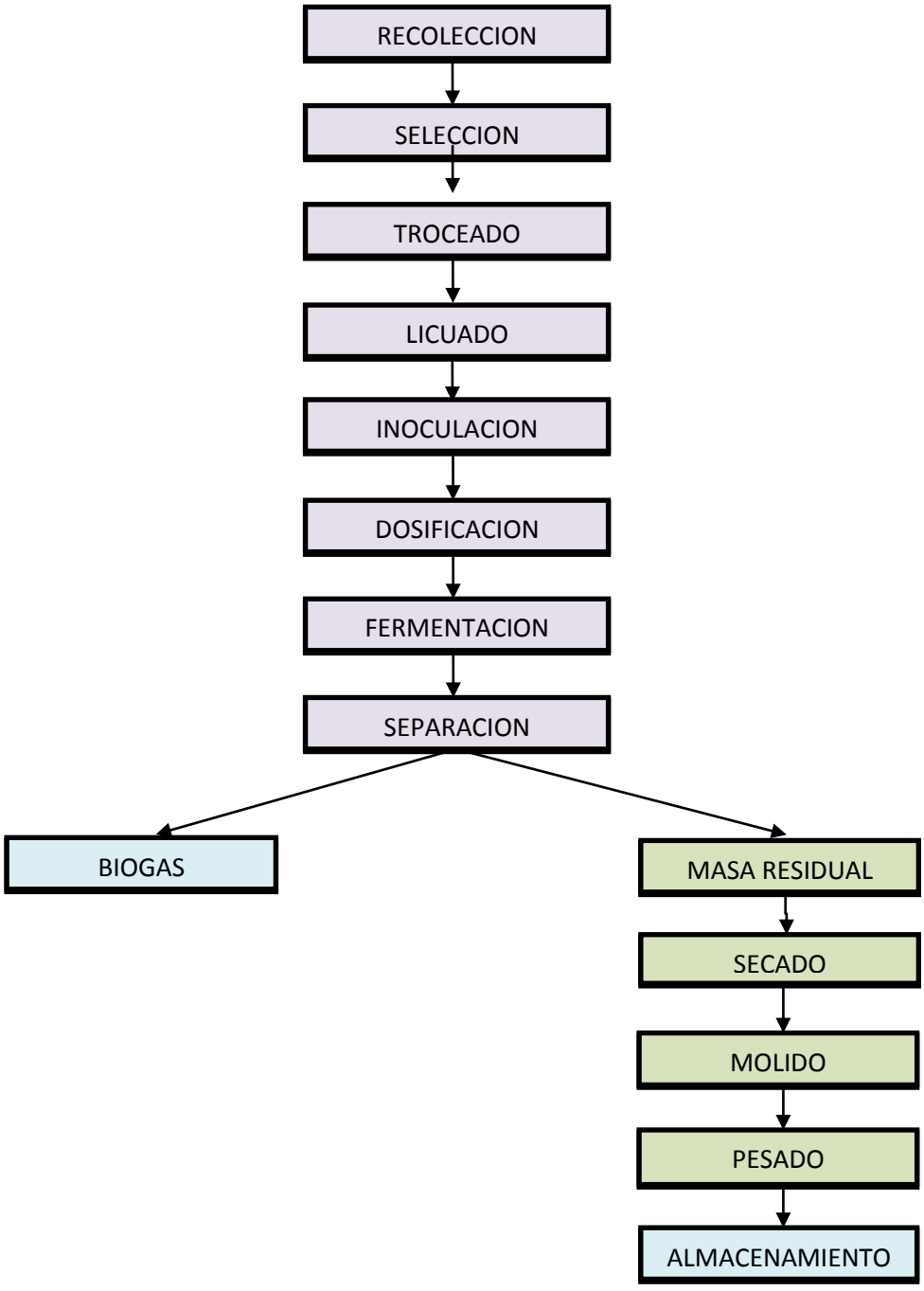
3.5.10.3 Pesado

Una vez molidos los diferentes sustratos, este se lo pesó y se realizó los análisis de macro elementos (N, P, K).

3.5.10.4 Almacenado

Después de realizar todos los análisis se procedió a guardar los sustratos en envases de polietileno para conservarlos.

3.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE OBTENCION DE BIOGAS Y BIOFERTILIZANTE



Fuente: (Autoras: Salazar L, Villares J 2011)

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA:

Los análisis físicos químicos que se efectuaron en la materia prima (desechos orgánicos domésticos) fueron pH, grados brix y temperatura correspondientes al sustrato homogéneo que utilizamos para la obtención de biogás y biofertilizante. En el anexo 2 se muestra la tabla de medias obtenidas tras su estudio.

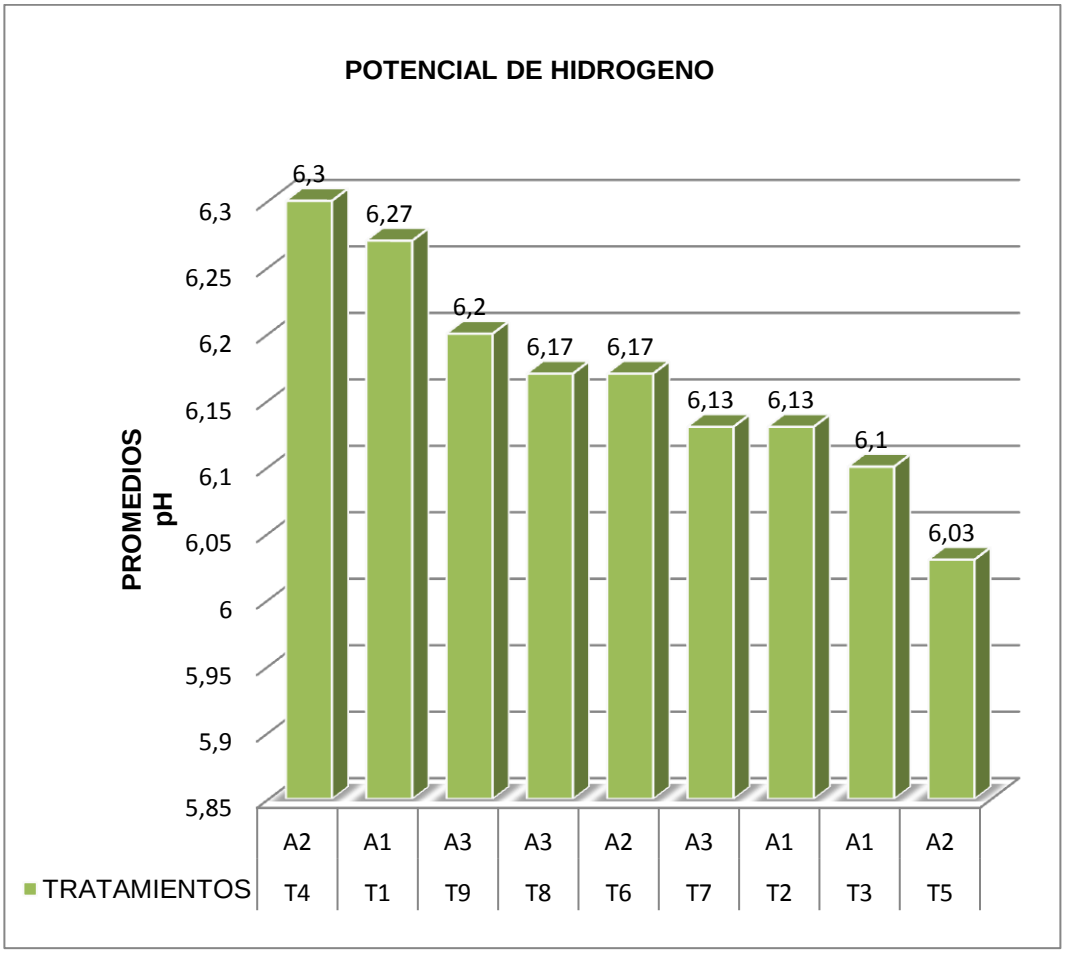
4.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

TABLA No. 13: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE pH DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS.

Tratamientos		Media LS	Rango
T_4	A_2	6,30	A
T_1	A_1	6,27	A
T_9	A_3	6,20	A
T_8	A_3	6,17	A
T_6	A_2	6,17	A
T_7	A_3	6,13	A
T_2	A_1	6,13	A
T_3	A_1	6,10	A
T_5	A_2	6,03	A

Fuente: (Datos de investigación de campo 201

GRÁFICO No. 6: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE pH DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS DOMESTICOS.



Fuente (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No.13, En los datos obtenidos según el rango de medias de Tukey al 5%, se compararon promedios del pH de los residuos orgánicos domésticos, que componían a esta materia una vez licuada y homogenizada para iniciar el proceso de fermentación.

En los resultados se aprecia que todos los tratamientos empezaron con un pH ligeramente ácido, siendo el tratamiento T_4 (A_2) el promedio más alto con

un valor de 6,30, siendo este el más cercano al pH óptimo (6,7 a 7.5) para la producción de microorganismos formadores de metano como nos indica el libro de Biogás from Waste And Renewable Resources y el promedio más bajo es el tratamiento T_5 (A_2) con un valor 6,03 el cual se acerca a un rango mas acido dentro de la escala de pH y según el Manual De Obtención de Biogás los valores de pH menores a 6,2 retardan la acidificación dentro de las etapas de obtención de biogás. Como se observa de mejor manera en el grafico No. 6, considerando los valores obtenidos dentro del rango de valoración en todos los tratamientos que no es significativo.

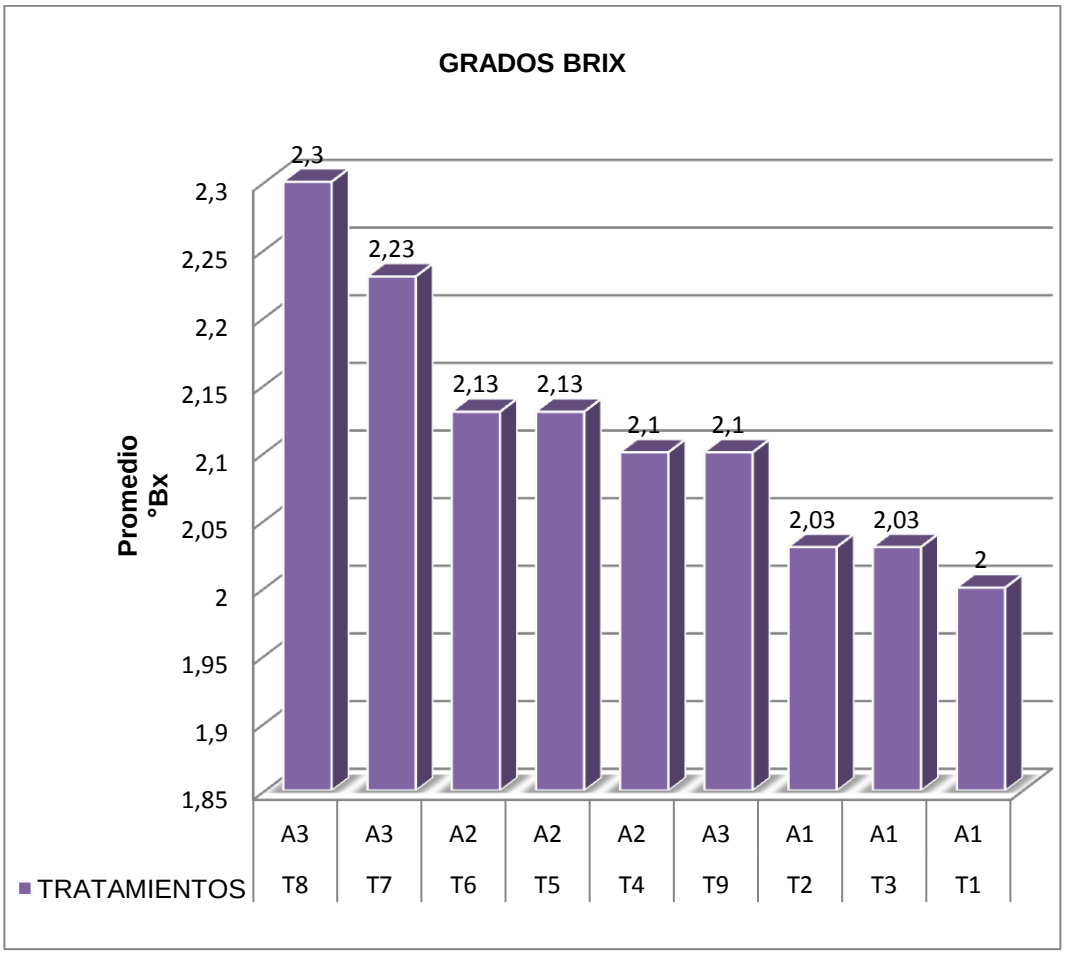
4.1.2 Grados Brix (°Bx)

TABLA No. 14: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE GRADO BRIX DE LOS DESECHOS ORGANICOS DOMESTICOS.

Tratamientos		Media LS	Rango
T_8	A_3	2,30	A
T_7	A_3	2,23	A
T_6	A_2	2,13	A
T_5	A_2	2,13	A
T_4	A_2	2,10	A
T_9	A_3	2,10	A
T_2	A_1	2,03	A
T_3	A_1	2,03	A
T_1	A_1	2,00	A

Fuente (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 7: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE EL GRADO BRIX DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS.



Fuente (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No.14 y gráfico No.7, según el rango de medias de Tukey al 5%, se compararon los promedios de grados Brix (°Bx), para saber el cociente total de sólidos totales disueltos en los desechos orgánicos domésticos licuados, en los que se aprecia que el tratamiento T_8 (A_3) tiene un valor de 2,30 °Bx, mientras que el tratamiento T_1 (A_1) tiene un promedio de 2 °Bx siendo el de más baja puntuación, lo que nos indica que los desechos aun licuados no desprendieron toda su sacarosa como para ser medida,

considerando dentro del rango de valoración en todos los tratamientos que no es significativo.

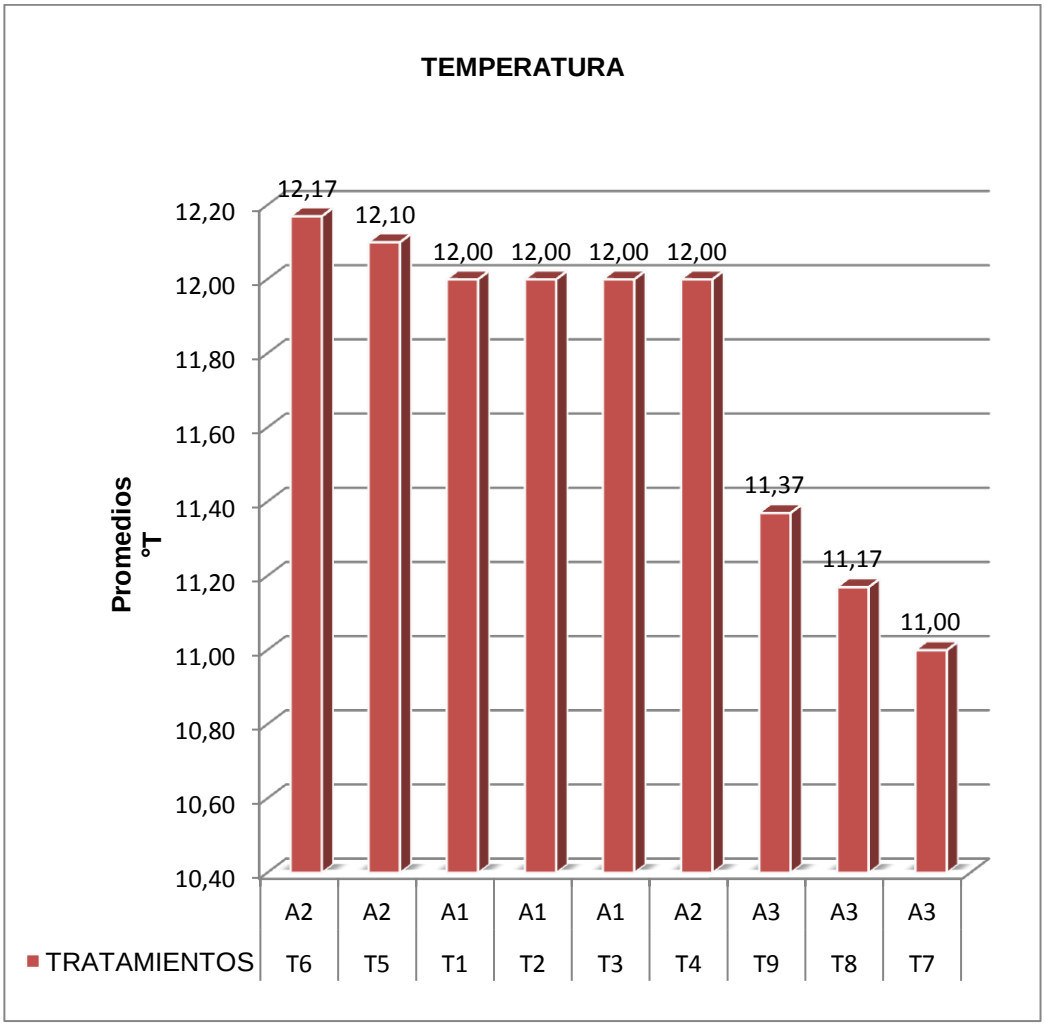
4.1.3 Temperatura

TABLA No. 15: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE TEMPERATURA DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS.

Tratamientos		Media LS	Rango
T_6	A_2	12,17	A
T_5	A_2	12,10	A
T_1	A_1	12,00	A
T_2	A_1	12,00	A
T_3	A_1	12,00	A
T_4	A_2	12,00	A
T_9	A_3	11,37	B
T_8	A_3	11,17	BC
T_7	A_3	11,00	C

Fuente (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 8: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE TEMPERATURA EN LOS DESECHOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS.



Fuente (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No. 15 y gráfico No.8, según el rango de medias de Tukey al 5%, se compararon los promedios de la temperatura (°C), para determinar si esta se encuentra dentro del rango para que comience el proceso de obtención de biogás, en la cual se aprecia que el tratamiento T_6 (A_2) se encuentra en una temperatura superior a los demás tratamientos con 12,17°C, mientras que el tratamiento T_7 (A_3) tiene un promedio de 11°C siendo el de más baja

puntuación, los mismos que comparados con el Manual De Obtención De Biogás todos se encuentran dentro del rango de (4 a 70 °C).

4.2 ANÁLISIS DEL SUSTRATO AL FINALIZAR LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS

Con el fin de conocer los parámetros en los que se desarrolló el proceso de fermentación se midieron las siguientes variables de pH, Temperatura y Grados Brix, para lo que el cuadro de medias de los resultados se encuentra presente en el anexo 3:

4.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

TABLA No. 16: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE pH DEL SUSTRATO AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Razón-F	Probabilidad
A: Tiempos de fermentación	0,0860	2	0,0430	28,7539	0,0001****
B: % levadura	0,1196	2	0,0598	39,9851	0,0001****
Replicas	0,0117	2	0,0058	3,8997	0,0417***
Interacciones AxB	0,0068	4	0,0017	0,84	0,5164**NS**
Residuos	0,0239	16	0,0015		
Total (corregido)	0,2481	26			
C.V.%	0,7882				

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

NS= No significativa

* = Significativa

** = Altamente significativa

La tabla No. 16, de análisis de varianza en pH del sustrato fermentado con la adición de levadura en sus diferentes porcentajes, presenta diferencia altamente significativa en los factores A y B, ya que la probabilidad prueba la significancia estadística con cada uno de los factores; puesto que es menor que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el pH con un 95% de nivel de confianza, indicándonos que tanto los diferentes tiempos de fermentación como los porcentajes de levadura influyeron por separado en el valor que se obtuvo de la variable pH en el sustrato mientras se fermentó el sustrato para la obtención de biogás.

En las replicas existió significancia ya que el valor en la probabilidad fue menor que 0,05 indicándonos que si hubo diferencia en los valores de la variable pH del sustrato fermentado en los bloques. Mientras que la interacción AxB no presenta significancia esto os indica que no hubo relación entre los factores.

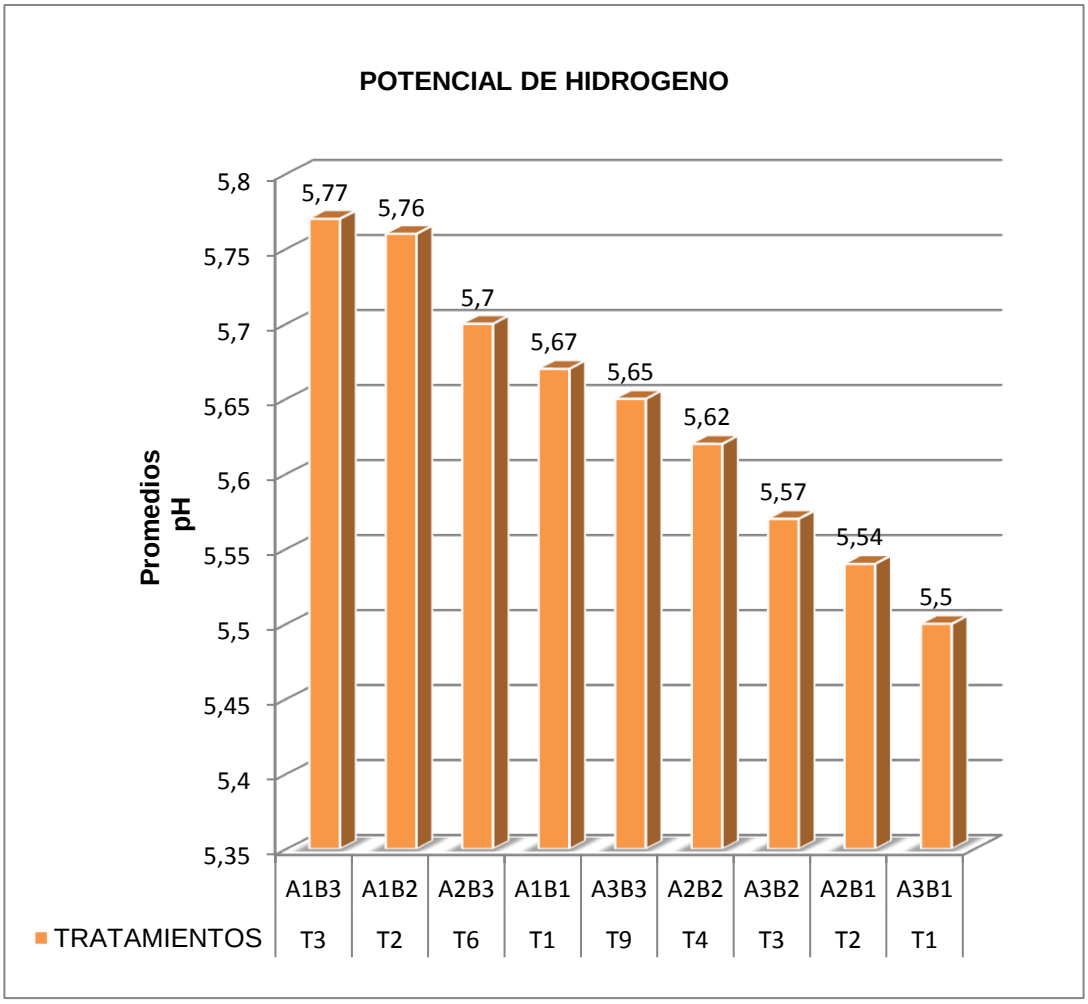
El análisis de varianza para la variable pH tuvo un coeficiente de variación nulo de valor 0,7882%, mismo que demuestra que los tratamientos fueron uniformes sin observarse diferencia en la estructura del sustrato.

TABLA No. 17: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE pH AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Tratamientos		Media Ls	Rango
T_3	A_1B_3	5,77	A
T_2	A_1B_2	5,76	A
T_6	A_2B_3	5,70	AB
T_1	A_1B_1	5,67	ABC
T_9	A_3B_3	5,65	ABC
T_5	A_2B_2	5,62	BCD
T_8	A_3B_2	5,57	CD
T_4	A_2B_1	5,54	CD
T_7	A_3B_1	5,50	D

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 9: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE PH AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

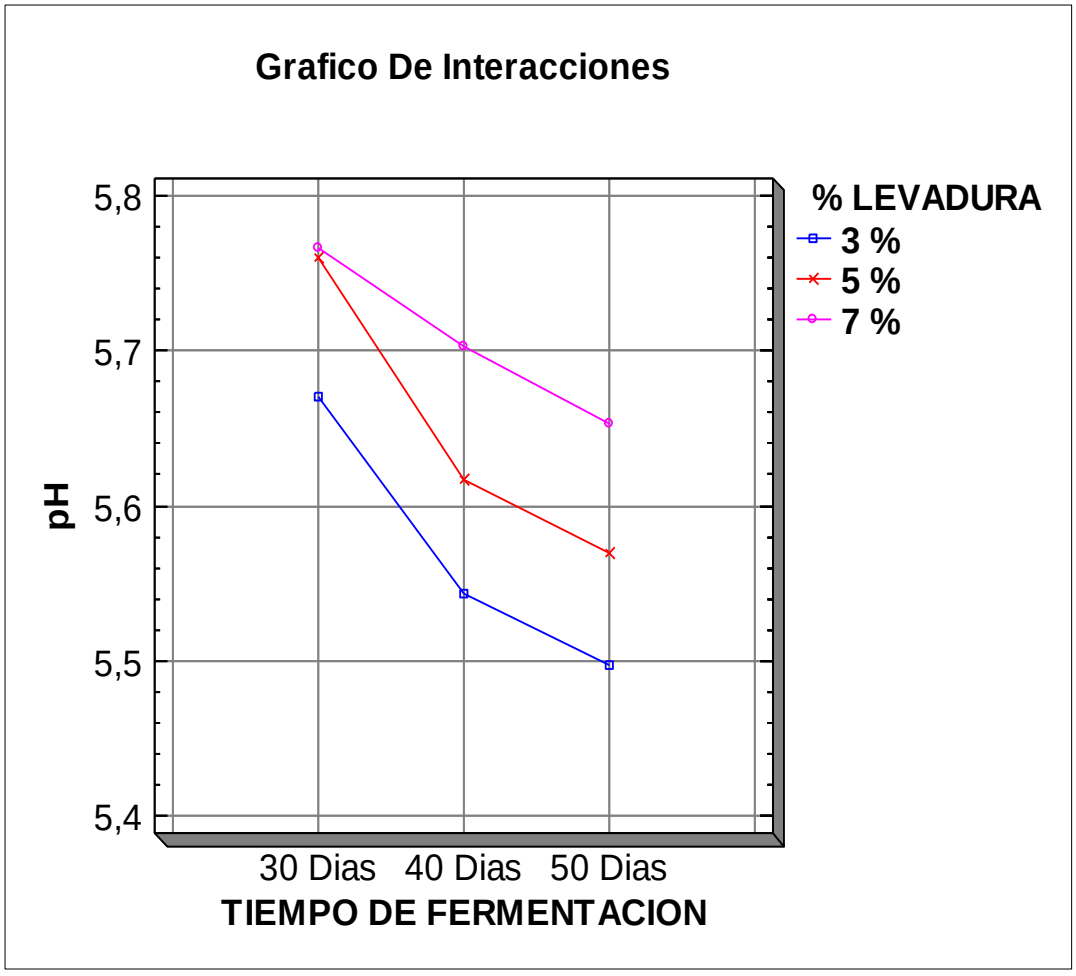


Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011

En la tabla No. 17 y gráfico No. 9 en la comparación de promedios del rango de Tukey al 5% en lo que respecta al pH del sustrato al finalizar el tiempo de fermentación y obtener el biogás y como materia prima para elaboración del fertilizante, se observa que estadísticamente hay diferencia significativa, y numéricamente se puede manifestar que el tratamiento T_3 (A_1B_3) es superior con una calificación de 5,77 pH correspondiente a la variación entre tiempo y

levadura (30 días – 7%) y como último tratamiento T_7 (A_3B_1) (50 días – 3%) con un valor de 5,50 pH, observando que los tratamientos T_6, T_1 y T_9, son estadísticamente diferentes con nivel de significancia variado, mientras que los tratamientos T_5, T_8 y T_4 de igual manera son estadísticamente diferentes con un rango de significancia menor.

GRAFICO No. **10: INTERACCIÓN AxB PARA LA VARIABLE PH AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.**



Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En el grafico No. 10, se observa que no existe interacción entre los factores tiempos de fermentación y porcentajes de levadura y al mismo tiempo

podemos concluir que a mayor tiempo de fermentación el valor en pH del sustrato decrece casi de forma paralela, siendo este un pH ácido.

.

4.2.2 Grados Brix

TABLA No. 18: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE GRADO BRIX AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Razón-F	Probabilidad
A: Tiempos de fermentación	0,97894	2	0,48947	14,0937	0,0002**
B: % levadura	0,25934	2	0,12967	3,73371	0,0440*
Replicas	0,28749	2	0,14375	6,81196	0,0072****
Interacciones AxB	0,03793	4	0,00948	0,27301	0,8939NS
Residuos	0,3377	16	0,0211		
Total (corregido)	1,90134	26			
C.V.%	5,9378				

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

NS= No significativa

* = Significativa

** = Altamente significativa

La tabla No.18, se observa el análisis de varianza en el °Bx del sustrato fermentado. En la que se observa que hay diferencia altamente significativa con respecto al factor A ya que su valor en la probabilidad es menor que 0,05 lo que nos indica que los tiempos de fermentación influyeron en la degradación de los sólidos solubles expresados en porcentaje de sacarosa presente en el sustrato y que el factor B tiene una diferencia solo significativa debido a que el valor en la probabilidad es menor a 0,05 siendo este factor menos influyente en la degradación de los sólidos solubles, los dos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre °Bx con un 95% de nivel de confianza.

Las replicas muestras un alto grado de significancia observándose que no hubo homogeneidad en los grados brix dentro de los bloques y diferentes tratamientos mientras que en la interacción A*B también no existe diferencia significativa alguna ya que el valor expuesto en la probabilidad es mayor 0,05, esto nos indica que los dos factores no actuaron juntos en la degradación de azúcares.

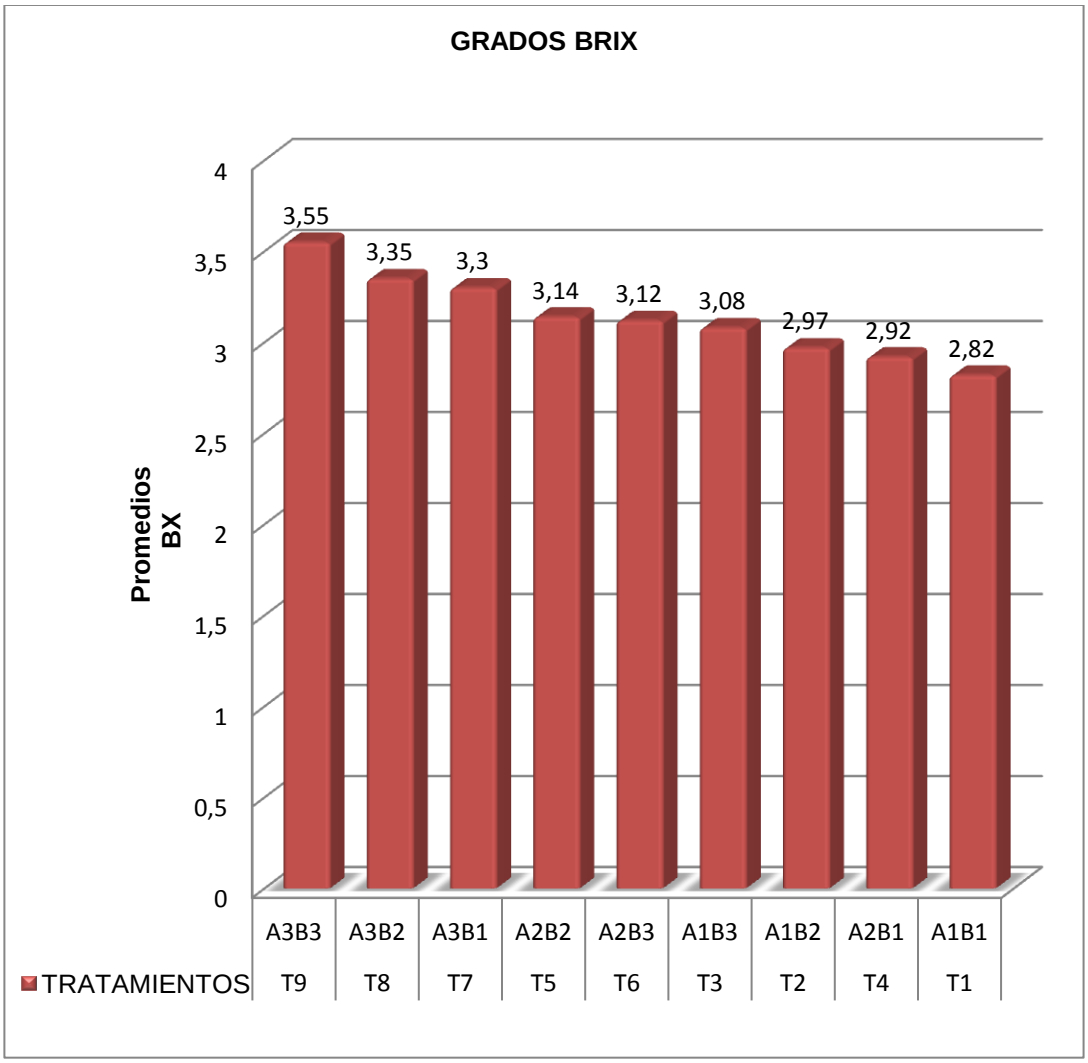
El análisis de varianza tuvo un coeficiente de variación casi nulo con un valor de 5,9378%, lo que nos indica que los tratamientos fueron uniformes sin observarse mayor diferencia en la estructura del sustrato.

TABLA No. 19: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE GRADOS BRIX AL TÉRMINO DE LA FERMENTACION Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Tratamientos		Media Ls	Rango
T_9	A_3B_3	3,55	A
T_8	A_3B_2	3,35	AB
T_7	A_3B_1	3,30	ABC
T_5	A_2B_2	3,14	ABC
T_6	A_2B_3	3,12	ABC
T_3	A_1B_3	3,08	ABC
T_2	A_1B_2	2,97	BC
T_4	A_2B_1	2,92	BC
T_1	A_1B_1	2,82	C

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 11: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE GRADOS BRIX AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

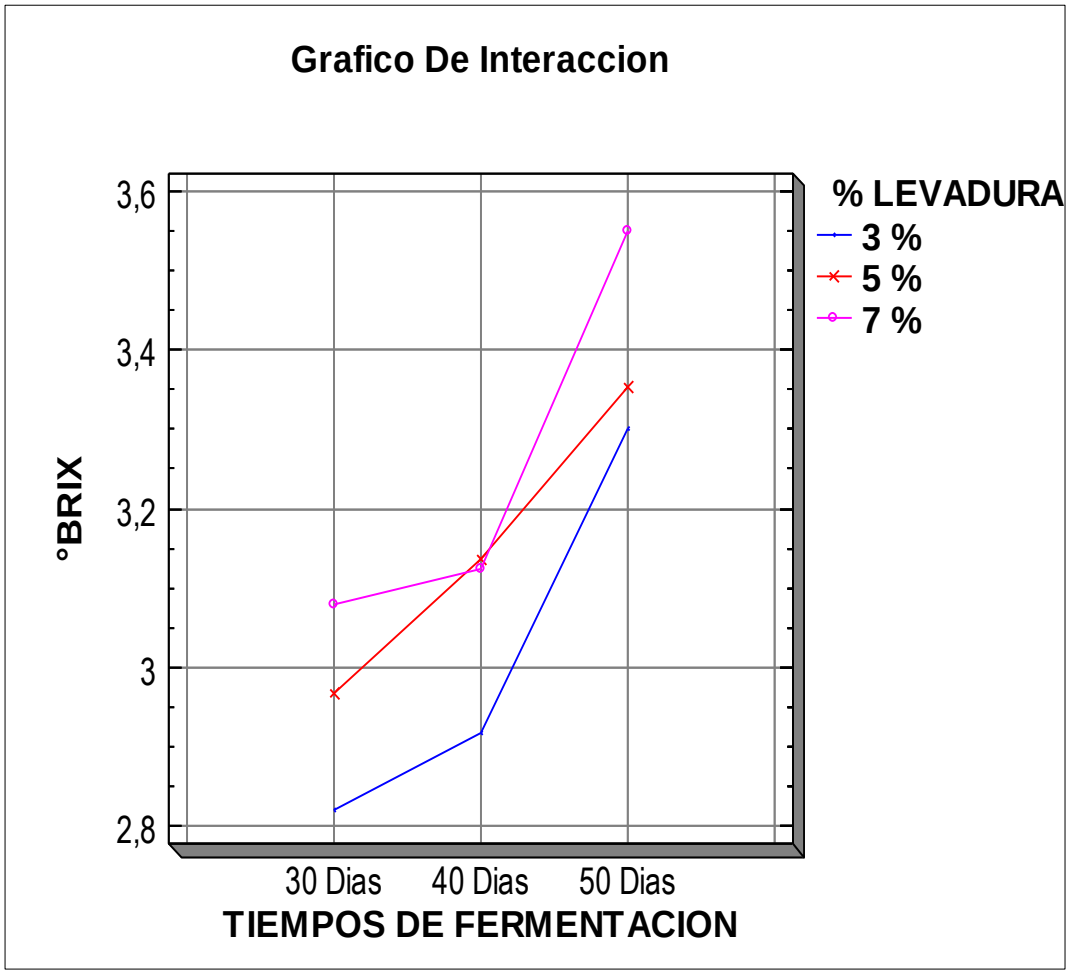


Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No. 19 y gráfico No. 11, se comprueba los promedios de la prueba de Tukey al 5% en °Bx del sustrato con levadura, en donde se aprecia que estadísticamente tiene una diferencia significativa entre los tratamientos, destacándose el tratamiento T_9 (A_3B_3) es superior con un valor de 3,55°Bx correspondiente a la combinación de (50 días – 7%) y como último se diferencia al tratamiento T_1 (A_1B_1) con una valoración de 2,82 °Bx,

correspondiente a (30dias – 3%) estableciendo así que cada uno de los tratamientos aun contenían azucares para ser degradados, mostrando una diferencia significativa en los tratamientos T_8,T_7,T_5,T_6,T_3,T_2,T_4.

GRÁFICO No. 12: INTERACCIÓN AxB PARA EL GRADO BRIX AL TÉRMINO DE LA FERMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.



Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En el grafico 12, de interacción en °Bx del sustrato fermentado se aprecia que las líneas de tendencia de (5%) y (7%) de levadura interaccionan en el punto 3,11 y 3.12 casi a los 40 días, pero sin ser significativo dentro de los

tratamientos, solo indicándonos que en estos puntos interactúan los tiempos de fermentación con el 5 y 7 % de levadura

4.2.3 Temperatura

TABLA No. 20: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA TEMPERATURA AL TÉRMINO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN DEL SUSTRATO Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Razón-F	Probabilidad
A: Tiempos de fermentación	0,198022	2	0,09901	9,36	0,0018**
B: % levadura	0,941400	2	0,47070	44,50032	0,0001**
Replicas	0,0542	2	0,0271	3,45039	0,0567 **NS**
Interacciones AxB	0,005778	4	0,00144	0,13655	0,9665 **NS**
Residuos	0,125667	16	0,0078		
Total (corregido)	1,325067	26			
C.V.%	0,587733				

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

NS= No significativa

* = Significativa

** = Altamente significativa

En la tabla No. 20, se puede identificar el análisis de varianza de la temperatura del sustrato con levadura en donde se aprecia que existe alta significancia en los factores A y B ya que su valor en la probabilidad es menor que 0,05 lo que nos indica que tanto el tiempo de fermentación y porcentaje de levadura influyeron en la variación de la temperatura por lo tanto estos factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la temperatura mientras que en las replicas y la interacción de los factores no hay significancia ya que su valor en la probabilidad es mayor que 0,05 con un 95% de nivel de confianza.

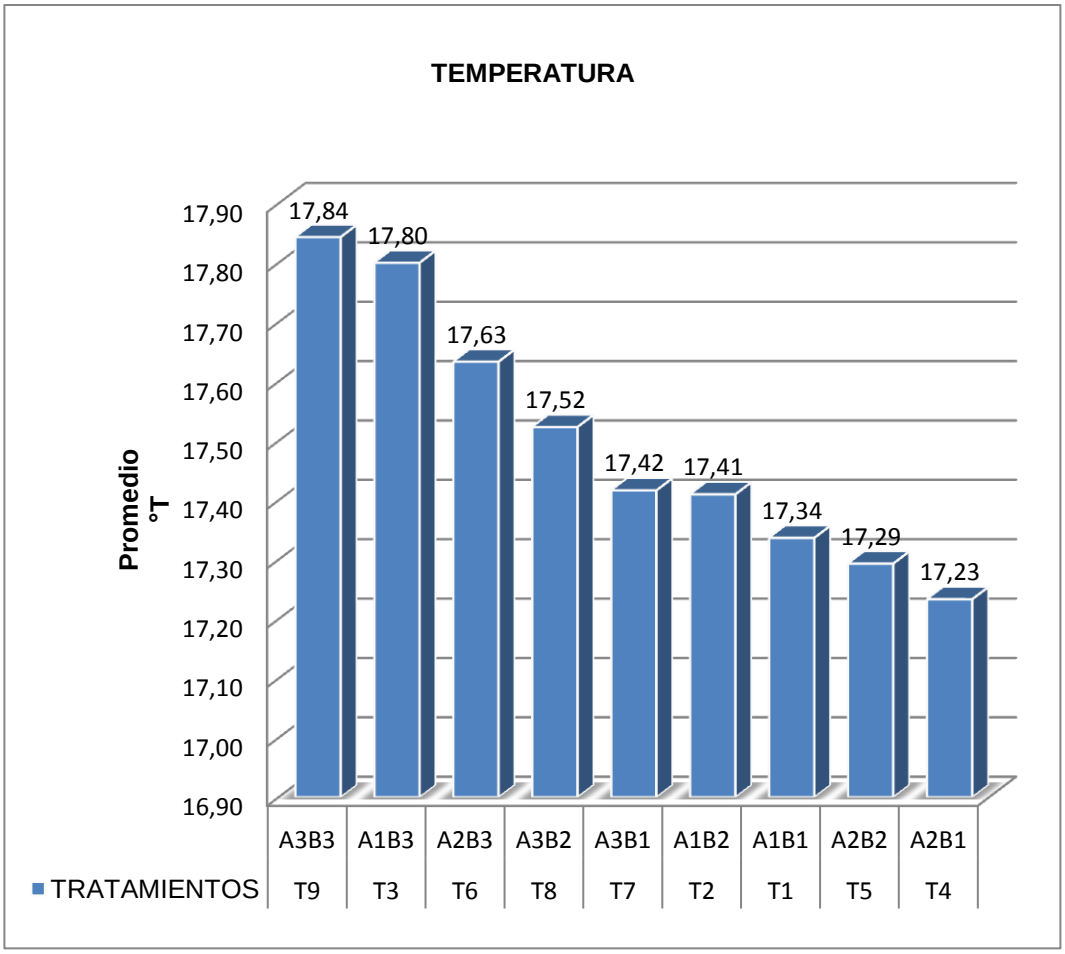
El análisis de varianza para la variable temperatura tuvo un coeficiente de variación nulo de valor 0,587733%, demostrándonos que los tratamientos fueron uniformes sin observarse mayor diferencia en la estructura del sustrato.

TABLA No. 21: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE TEMPERATURA AL TÉRMINO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN DEL SUSTRATO DE BIOGÁS.

Tratamientos		Media Ls	Rango
T_9	A_3B_3	17,84	A
T_3	A_1B_3	17,80	AB
T_6	A_2B_3	17,63	ABC
T_8	A_3B_2	17,52	BCD
T_7	A_3B_1	17,42	CD
T_2	A_1B_2	17,41	CD
T_1	A_1B_1	17,34	D
T_5	A_2B_2	17,29	D
T_4	A_2B_1	17,23	D

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 13. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE TEMPERATURA AL TÉRMINO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN DEL SUSTRATO Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

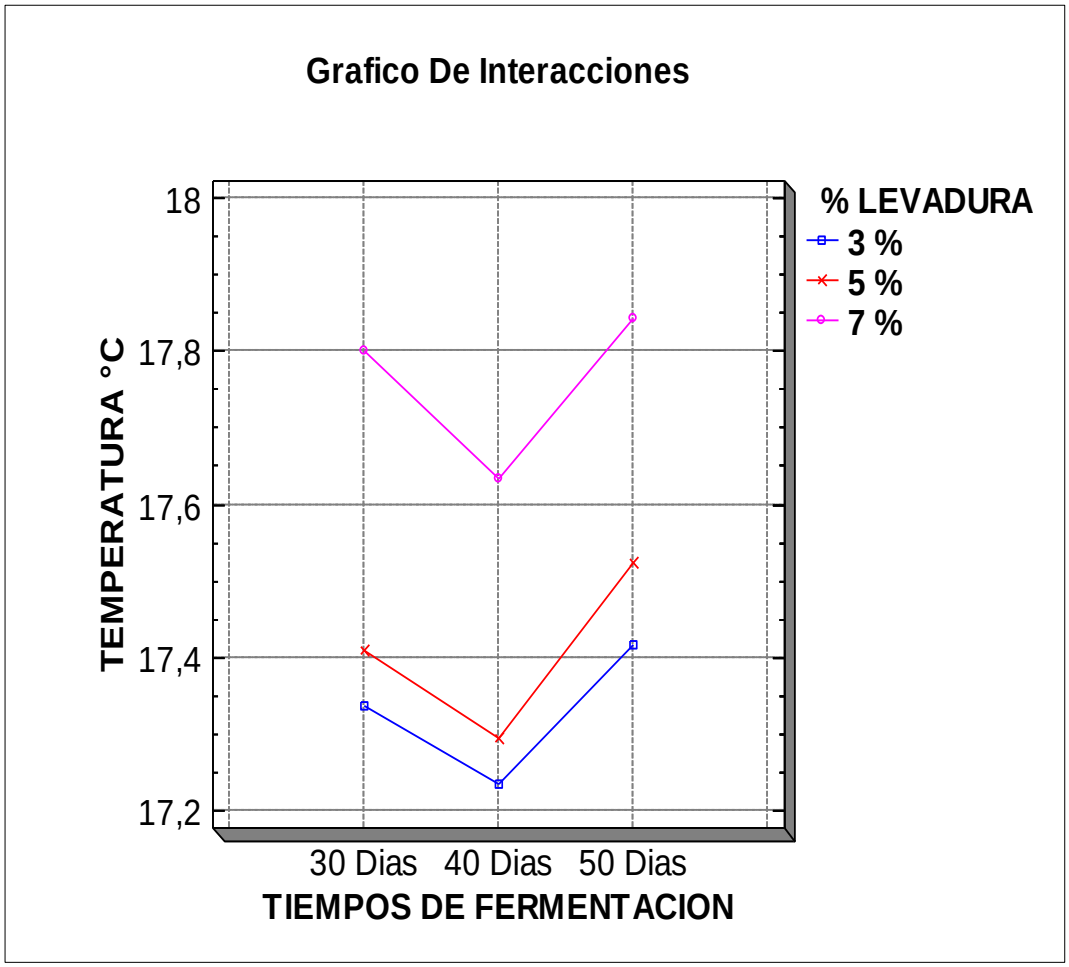


Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No. 21 y gráfico No.13 se analiza los promedios del rango de Tukey al 5% en temperatura del sustrato con levadura, en donde se observa que estadísticamente hay diferencia significativa, y numéricamente se puede manifestar que el tratamiento T_9 (A_3B_3) con una calificación de 17,84 °C es superior correspondiente a la mezcla entre tiempo de fermentación (50 días) y (7%) de levadura y como último al tratamiento T_4 (A_2B_1) con una calificación de 17,23 °C proporcionada a (50 días) (3%); con lo que podemos decir que

aun con temperaturas bajas se logró producir las bacterias metanogénicas responsables de la producción de biogás, con un grado de significancia variado en los demás tratamientos.

GRAFICO No. 14. INTERACCIÓN AxB PARA LA TEMPERATURA AL TÉRMINO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL SUSTRATO Y OBTENCIÓN DE BIOGÁS.



Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En el grafico No. 14, de Interacción entre tiempo de fermentación y porcentaje de levadura, se observa que las líneas de tendencia presenta un semi-paralelismo en cada punto del análisis, lo que nos demuestra homogeneidad en cada uno de los puntos del análisis.

4.2.4 Volumen de Gas Obtenido

TABLA No. 22: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE VOLUMEN DE BIOGÁS.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Razón-F	Probabilidad
A: Tiempos de fermentación	481,756	2	240,878	187,765	0,0001**
B: % levadura	9,795	2	4,898	3,818	0,0417**
Replicas	3,938	2	1,969	1,531	0,2465**NS**
Interacciones AxB	0,854	4	0,213	0,116	0,1640**NS**
Residuos	20,585	16	1,287		
Total (corregido)	516,928	26			
C.V. %	7,499				

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

NS= No significativa

* = Significativa

** = Altamente significativa

En la tabla No. 22, de análisis de varianza para la variable volumen de biogás producido a los diferentes tiempos de fermentación con distintos porcentajes de levadura, se observa que en el factor A (tiempo de fermentación) y el factor B (porcentaje de levadura) existe diferencia altamente significativa ya que la probabilidad prueba la significancia estadística con cada uno de los factores. Puesto que es menor que 0,05,

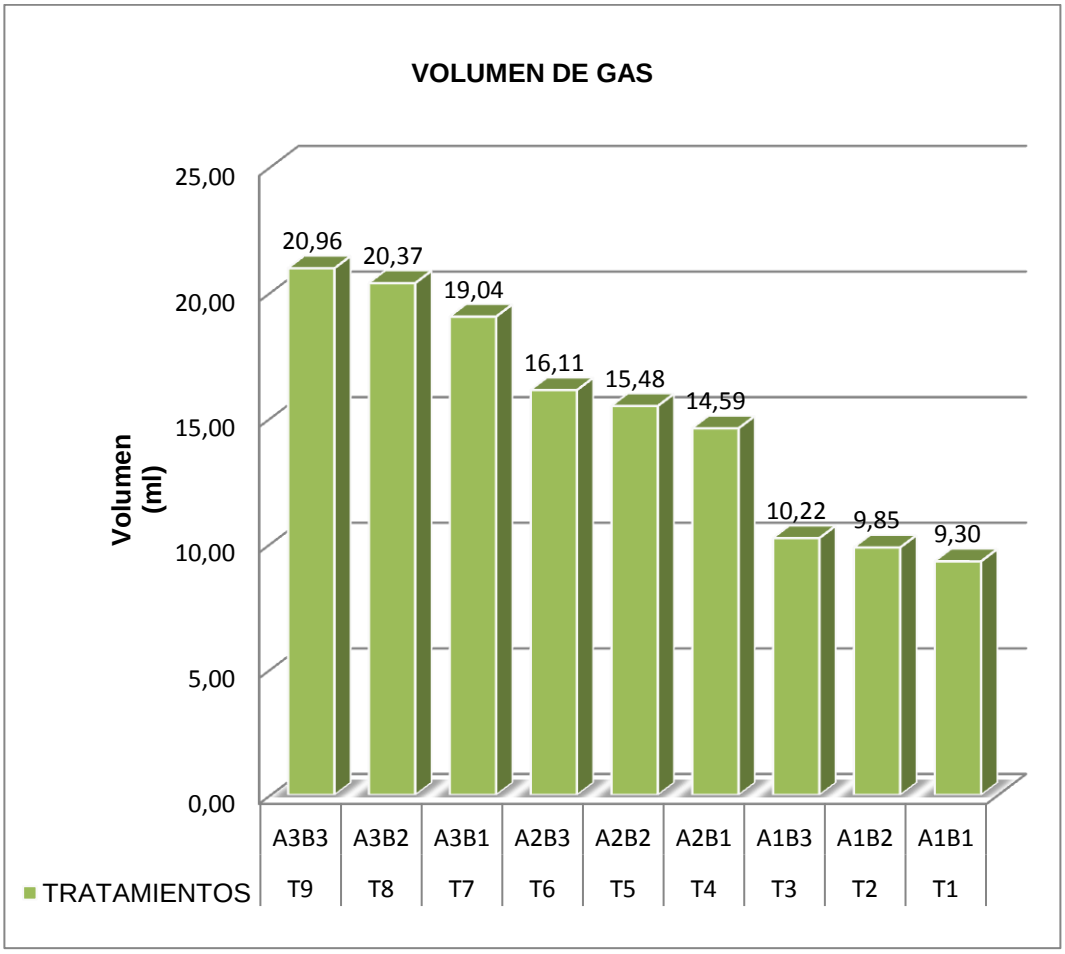
este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen producido indicándonos que los dos factores actuaron en la fermentación del sustrato para la producción de biogás, con un 95% de nivel de confianza.
Mientras que en la interacción y replicas no existe significancia, lo que nos indica que no hubo diferencia en los datos dentro de las replicas pero si entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 7,499 % que nos indica que los tratamientos fueron casi homogéneos sin mucha variabilidad entre estos.

TABLA No. 23. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE VOLUMEN DE BIOGÁS.

Tratamientos		Media Ls	Rango
T_9	A_3B_3	20,963	A
T_8	A_3B_2	20,373	A
T_7	A_3B_1	19,037	AB
T_6	A_2B_3	16,113	BC
T_5	A_2B_2	15,480	C
T_4	A_2B_1	14,593	C
T_3	A_1B_3	10,223	D
T_2	A_1B_2	9,850	D
T_1	A_1B_1	9,297	D

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 15. PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE VOLUMEN DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

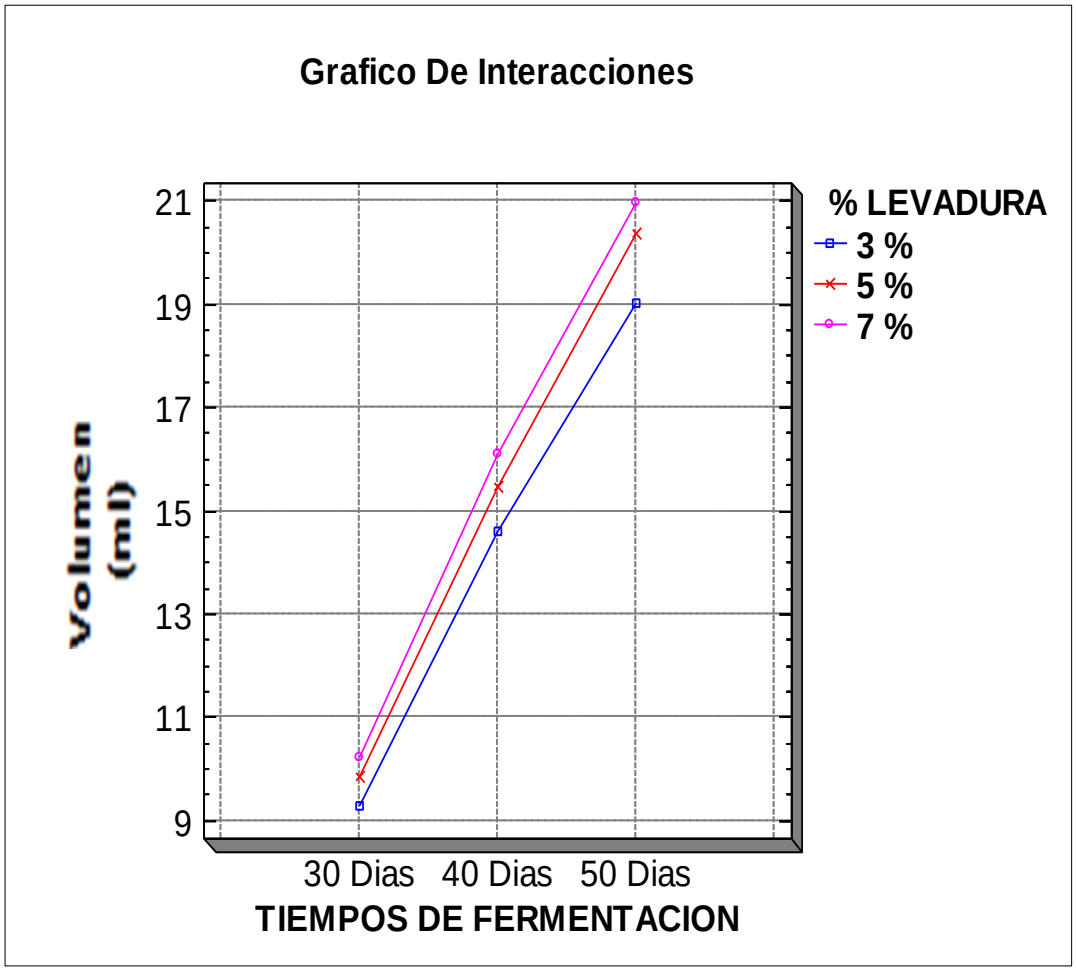


Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No. 23 y gráfico No. 15, se analiza los promedios del rango de Tukey al 5% en volumen obtenido de biogás (ml) a partir de la fermentación de desechos orgánicos domésticos, en donde se observa que estadísticamente hay diferencia significativa, y numéricamente se puede manifestar que el tratamiento T_9 (A_3B_3) con una calificación de 20,96 ml es superior correspondiente a la variación de tiempo de fermentación con diferente porcentaje de levadura (50 días – 7%) y como último al tratamiento T_1 (A_1B_1) con una calificación de 9,29 ml proporcionado a (30 días – 3%) y al

comparar con una referencia bibliográfica de producción de biogás a partir de estiércol de cerdos en un digestor notamos que es sumamente baja la producción de biogás, pero si comparamos con la producción de biogás a partir del estiércol de vacuno en un biorreactor, es baja la producción a partir de los desechos orgánicos domésticos, observamos también que son estadísticamente diferentes los tratamientos T_7 y T_6, mientras que los tratamientos T_5 y T_4, de igual manera son estadísticamente diferentes con un rango de significancia menor.

GRAFICO No. 16: INTERACCIÓN AxB PARA EL VOLUMEN OBTENIDO DE BIOGÁS.



Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011

En el grafico 16, de Interacción en el volumen producido de biogás a partir de la fermentación de desechos orgánicos domésticos, se observa que las líneas de tendencia presenta un semi-paralelismo en cada punto del análisis, indicándonos que la producción fue aumentando si era mayor el tiempo de fermentación y el porcentaje de levadura.

4.2.5 Rendimiento del Biogás

El cálculo del rendimiento se procedió a partir del mejor tratamiento en volumen de biogás, correspondiente al tratamiento T_9 (A_3B_3) (50 días – 7% de levadura) con un volumen de 20,96 ml y una densidad de 1,0498 g/ml.

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

DATOS:

Materia prima T_9 (m.p T_9) = 4 lb

Densidad (ρ) = 1,0498 g/ml

CÁLCULO:

a. Primero transformamos las 4 lb de materia prima en gramos.

4 ~~lb~~	454 g
	1 ~~lb~~

= 1816 g

b. Los gramos calculados los transformamos en mililitros con el uso de la densidad.

1816 ~~g~~	Ml
	1,0498 ~~g~~

= 1729,85 ml

c. Esto nos indica que 1729,85 ml producen 20,96 ml de biogás.

d. Ahora calculamos con una simple regla de tres cuanto biogás produjo 100 ml de materia prima usada en el proceso.

1729,85 ml de masa – 20,96 ml de biogás
100 ml de masa – X
X = 1,21 ml de biogás

De esta manera decimos que por cada 100 ml de materia prima se obtiene 1,21 ml de biogás.

4.3 ANÁLISIS DEL BIOFERTILIZANTE SECO

Este análisis se lo realizó para determinar si el sustrato seco que quedó de la fermentación es apto o contiene los nutrientes necesarios para ser utilizado como biofertilizante en la tierra para las plantas, con lo que aprovechamos de todas las maneras los desechos y no contaminamos el ambiente.

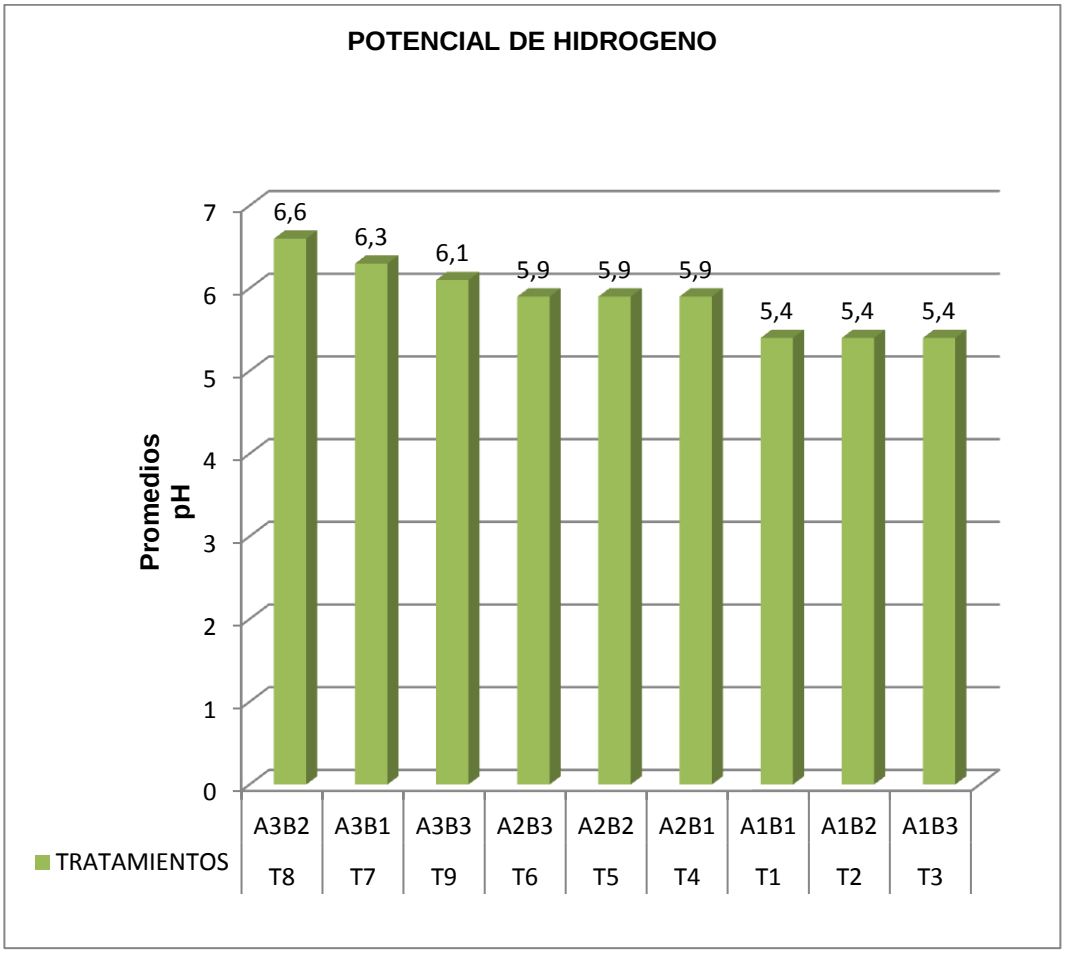
4.3.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

TABLA No. 24: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA COMPARAR PROMEDIOS EN LA VARIABLE pH DEL BIOFERTILIZANTE SECO.

Tratamientos		Media Ls	Rango
T_8	A_3B_2	6,6	A
T_7	A_3B_1	6,3	B
T_9	A_3B_3	6,1	C
T_6	A_2B_3	5,9	D
T_5	A_2B_2	5,9	D
T_4	A_2B_1	5,9	D
T_1	A_1B_1	5,4	E
T_2	A_1B_2	5,4	E
T_3	A_1B_3	5,4	E

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

GRÁFICO No. 17: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE pH DEL BIOFERTILIZANTE SECO.



Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

En la tabla No. 24 y gráfico No. 17, se analiza los promedios del rango de Tukey al 5% en pH del biofertilizante se observa que estadísticamente hay diferencia significativa y numéricamente se puede manifestar que el tratamiento T_8 (A_3B_2) con una calificación de 6,6 es superior correspondiente a la mezcla de (50 días de fermentación) y (5%) levadura, seguido por el tratamiento T_7 (A_3B_1) que califica con 6,3, correspondiente a (50 días) (3%), y como último al tratamiento T_3 (A_1B_3) con un valor de 5,4 proporcionado a (30 días) (7%) y que al investigar en bibliografía nos dicen que para que un

fertilizante sea apto para el suelo debe estar en un rango de 6 a 7 con lo cual decimos que solo los tratamientos a los 50 días de fermentación son aptos para el suelo, mientras que los otros son ácidos.

4.3.1. Análisis de Macro Elementos

Los fertilizantes se componen de tres elementos básicos, a saber: Nitrógeno, Fosforo y Potasio; a estos tres elementos se les denomina elementos mayores o fundamentales, porque siempre está presente alguno de los tres o los tres en cualquier fórmula de fertilizante. Es por eso que realizamos la determinación de estos elementos por medio del MÉTODO COLORIMÉTRICO DE LA MOTTE.

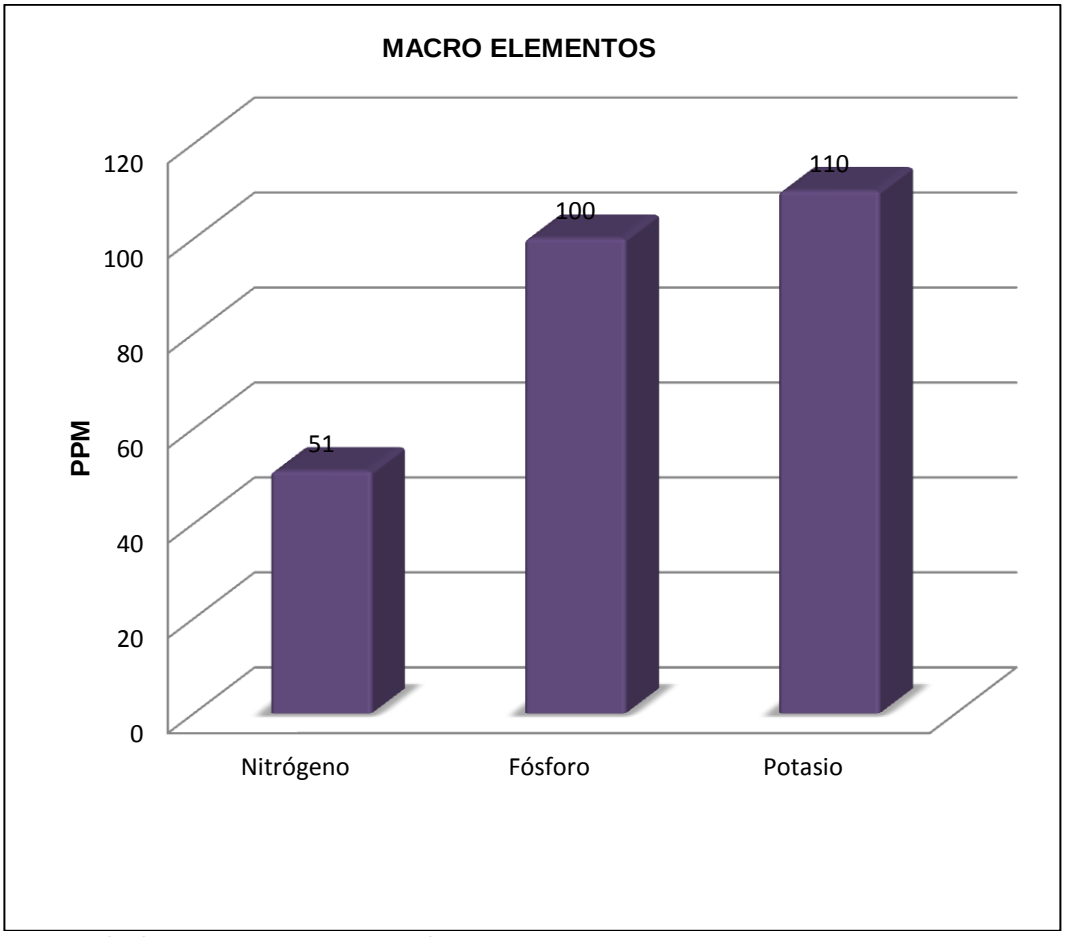
4.3.2.1 NITRÓGENO, FÓSFORO y POTASIO

TABLA No. 25. RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE NITRÓGENO, FOSFORO Y POTASIO EN EL BIOFERTILIZANTE.

MACRO ELEMENTO	CANTIDAD ppm	NIVEL
Nitrógeno	51	MEDIO
Fósforo	100	ALTO
Potasio	110	ALTO
Método	Colorimetría De La Motte	

Fuente: (Lab. SUELOS U.E.B, 2011)

GRÁFICO No. 18: CANTIDAD EN ppm DE MACRO ELEMENTOS EN EL BIOFERTILIZANTE.



Fuente: (Lab. SUELOS U.E.B, 2011)

En la tabla No. 26 y gráfico No. 18, se puede observar los resultados de los análisis químicos de los macro elementos principales como son el nitrógeno, fósforo y potasio, una vez que el sustrato ha sido secado y molido, con un valor de 51 ppm para nitrógeno, 100 ppm para fósforo y 110 ppm para el potasio, lo que nos indica que este sustrato si contiene un buen nivel de macro elementos para considerarlo como biofertilizante ya que al contener nitrógeno, fósforo y potasio ayudara al crecimiento foliar, lignificación de tejidos y desarrollo y madurez de flores y frutos de la planta en donde se

aplicara este biofertilizante, previo un análisis de las necesidades de nutrientes de la planta a ser fertilizada.

4.4 ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN SIMPLE

TABLA No. 26. CORRELACIÓN Y REGRESIÓN LINEAL SIMPLE EN EL SUSTRATO FERMENTADO.

Volumen	Coeficiente de Correlación (r)	Coeficiente de Regresión (b)	Coeficiente de Determinación (R^2%)
Ph	0,35739556	44,6759546	12,7730154
Brix	0,20375762	14,5213875	4,1517167
Temperatura	0,24677612	21,3003464	6,0898453

Fuente: (Datos de investigación de campo, 2011)

No existe correlación con respecto a las variables del tratamiento T_9 (A_3B_3) correspondiente a 50 días y 7 % de levadura, puesto que existe proporcionalidad en los valores de pH, brix y temperatura, ya que el valor de r es menor a 1, mientras que en el coeficiente de regresión (b) el pH tiene variación en cuanto a los Brix y Temperatura al final de la fermentación, y en el coeficiente de determinación el pH tiene el mayor porcentaje de 12,77%,es decir que el pH incide directamente en el volumen producido de biogás, frente a las otras variables como el brix con 4,15% y la temperatura de 6,089%.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El alcance de los objetivos planteados conduce a las siguientes conclusiones:

- El sistema de fermentación por lotes implementado con un reactor de sistema batch en condiciones anaeróbicas, con las siguientes características: biorreactor (galón de 4 lt), manguera para toma de muestras y un equipo de venoclisis adaptado a una jeringa de 60 ml. para recolección de biogás, funcionando en condiciones ambientales; nos permitió obtener biogás y biofertilizantes (sólido y líquido) a partir de la degradación de los desechos orgánicos domésticos.

- De acuerdo al proceso de fermentación implementado a medida que aumenta el tiempo de fermentación, aumenta el volumen de biogás producido por los desechos orgánicos domésticos degradados, con lo que se demuestra que es directamente proporcional al volumen y tiempo de fermentación; determinándose en la investigación que el tiempo óptimo fue a partir de los 50 días de retención en los biodigestores,

- De los porcentajes de lavadura utilizados para el proceso de degradación y fermentación del sustrato. de acuerdo a las respuestas experimentales se obtuvo con la adición de levadura al medio de fermentación, el óptimo fue el 7 % ayudando a degradar la materia prima orgánica, e incrementando el volumen de biogás obtenido, acelerando la fermentación y la eliminación de CO_2.

- El rendimiento de biogás con respecto a la materia prima utilizada y posteriormente degradada, se observó en el tratamiento T_9 (A_3B_3) (50 días – 7% levadura), produciendo por cada 100 ml de materia prima degradada 1,21 ml de biogás.

- Se demostró la hipótesis, que a partir de la fermentación de desechos orgánicos domésticos en un sistema batch, utilizando como microorganismo la levadura y niveles de temperatura en condiciones ambientales se obtiene biogás y biofertilizante.

5.2 RECOMENDACIONES

En cuanto a recomendaciones se sugiere:

- La materia prima para la obtención de biogás y biofertilizante debe ser de preferencia de una sola clase, para que su degradación sea más homogénea, es decir que se utilice solo cereales, o solo legumbres, etc., para que sea una mejor degradación y más homogénea.

- Para aumentar la producción de metano sería preferible el uso de un calefactor interno que podría ser por calentamiento eléctrico ó con paneles solares, debido a que la temperatura en la ciudad de Guaranda es demasiado baja y el gas es consumido dentro del biodigestor como energía.

- Trabajar con biodigestores de alimentación continua y el proceso de carga debe ser diario con un control adecuado de la temperatura, para así tener un producto de manera continua y en mayor volumen.

- El agua que se utilice en la mezcla no debe ser clorada. Si es suministrada de algún acueducto, se recomienda que no sea directamente de la red, ya que en el biogás hay colonias de microorganismos que pueden morir o disminuir su actividad metabólica por la acción del cloro.

- Realizar un protocolo o manual de operación para la obtención de biogás y biofertilizante, muestreo y análisis de laboratorio, para saber cómo está funcionando y si se dan todas las fases para la obtención del mismo.

- El proceso de obtención de biogás debe ser controlado completamente de que no haya fugas de aire porque se puede presentar la generación de mohos en el sustrato cambiando su proceso y evitando la producción de biogás.

VI. RESUMEN Y SUMMARY

6.1 RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Planta de Frutas y Hortalizas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal de Bolívar, cuya finalidad fue de resaltar la importancia del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

Estos residuos constituyeron la materia prima a ser utilizada de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural de la misma, de esta manera se da una alternativa para la remediación del medioambiente.

Para la realización de esta investigación utilizamos un sistema de fermentación Batch, de una sola carga, sin agitación completamente anaeróbico y con un vaciado total después del tiempo de fermentación.

En el proyecto evaluamos el mejor tiempo de fermentación y los porcentajes de levadura con los que trabajamos para la obtención de biogás y biofertilizante, obteniendo como resultados:

a) El mejor tratamiento correspondiente a mayor volumen de biogás fue el T_9 (A_3B_3) (50 días – 7% levadura) con un valor de 20,96 ml por lo tanto su rendimiento fue de 1, 21 ml de biogás por cada 100 ml de materia prima fermentada.

b) El mejor tratamiento en biofertilizante corresponde al T_8 (A_3B_2) (50 días – 7 % levadura) debido a que su pH tuvo un valor de 6,6 acercándose a neutro.

c) Si consideramos la cantidad de macro elementos principales los tratamientos T_7, T_8 Y T_9 poseen los mismos valores de N, P, K, siendo estos muy beneficiosos para la fertilización de plantas por sus altos contenidos.

d) Nuestra motivación para la realización de este tema de investigación fue que con la obtención de biogás se puede contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano, y la mejora de la calidad del agua a través de la transformación de residuos orgánicos en abono con menos potencial de escurrimiento de nutrientes, ayudando así a evitar parte del calentamiento global por el cual atraviesa nuestro planeta.

6.1. SUMMARY

This research work was conducted at the Fruit and Vegetables Plant from the Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Estatal de Bolivar, whose purpose was to highlight the importance of the development of the organic fraction of municipal solid waste.

These residues were the raw materials to be used from plant, animal or from the natural transformation of the same, this way it gives an alternative for remediation of the environment.

For the realization of this research we use a fermentation system batch, a single charge, without agitation completely anaerobic and with a total emptying after the fermentation time.

In the project we evaluate the best time of fermentation and the percentages of yeast that we work with for the biogas and bio fertilizer, obtaining results:

a) The best treatment for greater volume of biogas was T9 (A3B3) (50 days - 7% yeast) with a value of 20.96 ml therefore its yield was 1, 21 ml of biogas per 100 ml of matter raw fermented.

b) The best treatment at T8 corresponds to bio fertilizer (A3B2) (50 days– 7 % yeast) because its pH value of 6,6 had a neutral approaching.

c) Considering the amount of macro key elements treatments T7, T8 and T9 have the same values of N, P, K, and these very beneficial to the fertilization of plants by their high levels.

Our motivation for conducting this research topic was that the biogas can

contribute to reducing emissions of greenhouse gases, especially methane, and improving water quality through the conversion of organic waste fertilizer with less potential for nutrient runoff, helping to prevent global warming part of which crosses our planet.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. BARRY Ana María, Control Del Metabolismo De Saccharomyces Cerevisiae En La Síntesis De Glutacion, Granada 2005.

2. BERNAL Jairo, División De Capacitación Y Asesoría Agropecuaria, Centa. Ica, Santafé Colombia.

3. BOTERO R, y PRESTON T, Biodigestión De Bajo Costo Para La Producción De Combustible Y Fertilizante A Partir De Excretas, edición 2007.

4. CHUNGANDRO J, y MANITIO J, Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Para Pequeñas Y Medianas Granjas, 2010

5. Colombia, Documentación del proyecto, Santiago de Cali-Colombia, Octubre, 2005.

6. CVC Y GTC, Difusión De La Tecnología Del Biogás En Colombia, Pág.139 1987.

7. CUADROS GARCIA, S. Tratamiento De Los Residuos Solidos Urbanos Por Procesos De Fermentación Aerobia Y Anaerobia, Madrid, 2002.

8. DEUBLEIN Dieter, STEINHAUSER Angelika, Biogás From Waste And Renowable Resources, 2da edición 2009.

9. Dirección De Energías Alternativas, Ministerio De Energía Y Minas Construcción Y Mantenimiento De Un Biodigestor, Quito 2003.

10. GUAMBA, José, Generación Rápida De Biogás, Como Alternativa Energética Promisoria.

11. GUNNERSON, Stuckey, Anaerobic Digestion, World Bank Technical, 1990.

12. HILBERT JORGE, Manual para la Producción De Biogás, Instituto De Ingeniería Rural, Argentina, 2003.

13. INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA, Difusión De La Tecnología De Biogás.

14. LUGONES, Miembro De Cuba Solar, Especializado En Energías Alternativas, 2000.

15. MEIRELLES, L. BRACAGIOLI, N. Biofertilizantes Enriquecidos; Camino A La Nutrición Y Protección De Las Plantas, Centro De Agricultura Ecológica, 2000.

16. ORTEGA, Martí, Phosphurus Precipitation In Anaerobic Digestión Process, Boca Ration, Florida, USA, 2006.

17. RAZO, E y VILLAFUERTE, M, Construcción Y Pruebas De Un Biodigestor Experimental Para Fines Didácticos, Quito, 2007.

18. RESTREPO, J. Manual Práctico, Biofertilizantes Preparados Y Fermentados A Base De Mierda De Vaca, Cali, Primera Edición, Ilustración Feriva, 2007.

19. RIVERO, C. Revista alcance, Facultad de Agronomía, UCV. Vol. 57, 2007.

20. SANCHEZ, Milton y PAZMIÑO G. Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Plástico De Flujo Continuo A Partir De Desechos Orgánicos, Sangolqui, 2007.

21. SEMPERTEGUI Joseph, Determinación De La Producción De Residuos Solidos Domésticos Y Sus Principales Componentes, Riobamba, 2008.

22. Simposio Centroamericano Sobre Aplicaciones De Energía Biomasica Diseño Y Construcción De Biodigestores, 2003.

23. SOTO, G Liberación De Nutrimentos De Los Abonos Orgánicos, Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza (CATIE), 2004.

24. TURZO, E. GUTIERREZ, A. MORE, M. ORTEGA Y SENZ, A. Estudio Del Tiempo De Retención (T.R) Y De Sinergia De Deyecciones De Ganado En El Proceso De Fermentación Anaerobia, Instituto Nacional De Investigaciones Agrarias, Madrid, España, 1984.

25. http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm.

26. http://www.textoscientificos.com/energia/biogas.

27. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1746-692X.2011.00211.x/full.

28. http://www.springerlink.com/content/x384365p74203409/.

29. https://springerlink3.metapress.com/content/x66454178l702139/resource-secured/?target=fulltext.pdf&sid=0s02d0e04eutmmmccs03yonq&sh=www.springerlink.com

ANEXOS

ANEXO 1

CROQUIS DE LA UBICACIÓN DE LOS LUGARES DE ESTA INVESTIGACIÓN



ANEXO 2

- **RESULTADOS DE MEDIAS DE LAS VARIABLES Ph, ° °Bx Y °T EN LA MATERIA PRIMA.**

TRATAMIENTOS	Código	pH	° BRIX	°T
T_1	A_1B_1	6,10	2,00	12,00
	A_1B_1	6,20	2,00	12,00
	A_1B_1	6,50	2,00	12,00
T_2	A_1B_2	6,00	2,10	12,00
	A_1B_2	6,20	2,00	12,00
	A_1B_2	6,20	2,00	12,00
T_3	A_1B_3	6,10	1,90	12,00
	A_1B_3	6,10	2,00	12,00
	A_1B_3	6,10	2,20	12,00
T_4	A_2B_1	6,50	2,10	11,80
	A_2B_1	6,20	2,10	12,00
	A_2B_1	6,20	2,10	12,20
T_5	A_2B_2	6,00	2,20	12,10
	A_2B_2	5,90	2,10	12,10
	A_2B_2	6,20	2,10	12,10
T6	A_2B_3	6,10	2,20	12,20
	A_2B_3	6,20	2,20	12,20
	A_2B_3	6,20	2,00	12,10
T_7	A_3B_1	6,00	2,40	11,00
	A_3B_1	6,20	2,30	11,00
	A_3B_1	6,20	2,00	11,00
T_8	A_3B_2	6,00	2,20	11,10
	A_3B_2	6,20	2,30	11,20
	A_3B_2	6,30	2,40	11,20
T_9	A_3B_3	6,20	2,00	11,30
	A_3B_3	6,20	2,20	11,40
	A_3B_3	6,20	2,10	11,40

ANEXO 3

- **RESULTADOS DE MEDIAS DE LAS VARIABLES pH, °Brix y °T, AL FINALIZAR EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y COMO MATERIA PRIMA PARA EL BIOFERTILIZANTE.**

TRATAMIENTOS	Código	pH	° BRIX	°T
T_1	A_1B_1	5,71	2,67	17,42
	A_1B_1	5,60	2,98	17,31
	A_1B_1	5,70	2,81	17,28
T_2	A_1B_2	5,58	2,98	17,48
	A_1B_2	5,48	3,20	17,36
	A_1B_2	5,57	2,72	17,39
T_3	A_1B_3	5,45	2,86	17,84
	A_1B_3	5,46	3,27	17,75
	A_1B_3	5,58	3,11	17,81
T_4	A_2B_1	5,78	2,95	17,28
	A_2B_1	5,78	2,96	17,24
	A_2B_1	5,72	2,84	17,18
T_5	A_2B_2	5,63	3,17	17,34
	A_2B_2	5,61	3,15	17,27
	A_2B_2	5,61	3,09	17,27
T6	A_2B_3	5,60	3,19	17,68
	A_2B_3	5,57	3,12	17,65
	A_2B_3	5,54	3,06	17,57
T_7	A_3B_1	5,80	3,06	17,41
	A_3B_1	5,74	3,56	17,26
	A_3B_1	5,76	3,28	17,58
T_8	A_3B_2	5,74	3,08	17,51
	A_3B_2	5,68	3,46	17,39
	A_3B_2	5,69	3,52	17,67
T_9	A_3B_3	5,69	3,32	17,83
	A_3B_3	5,61	3,80	17,69
	A_3B_3	5,66	3,53	18,01

ANEXO 4

❖ MEDIAS DE LA VARIABLE VOLUMEN DE BIOGÁS

TRATAMIENTOS	Código	VOLUMEN (ml)
T_1	A_1B_1	9,11
	A_1B_1	8,89
	A_1B_1	9,89
T_2	A_1B_2	10,11
	A_1B_2	8,33
	A_1B_2	11,11
T_3	A_1B_3	9,56
	A_1B_3	10,00
	A_1B_3	11,11
T_4	A_2B_1	16,33
	A_2B_1	11,67
	A_2B_1	15,78
T_5	A_2B_2	15,33
	A_2B_2	16,00
	A_2B_2	15,11
T6	A_2B_3	15,56
	A_2B_3	16,11
	A_2B_3	16,67
T_7	A_3B_1	17,56
	A_3B_1	20,11
	A_3B_1	19,44
T_8	A_3B_2	19,56
	A_3B_2	21,00
	A_3B_2	20,56
T_9	A_3B_3	20,67
	A_3B_3	21,11
	A_3B_3	21,11

ANEXO 5

- **ANÁLISIS DE VARIABLES pH, °BRIX Y °T, MACROELEMENTOS Y MICROELEMENTOS EN EL BIOFERTILIZANTE.**

LABORATORIO DE SUELOS

NUMERO DE SOLICITUD: 361, 362, 363
Muestra : ABONO ORGANICO
Lugar: GUARANDA
Parroquia, Cantón: VEINTIMILLA
Propietario: LUIS A SALAZAR Y — JENY VILLARES
Solicitante: LUIS A SALAZAR Y — JENY VILLARES
Fecha de Ingreso: NOVIEMBRE 7 2011
Fecha de Entrega de Resultados: NOVIEMBRE 9 2011

	361		362		363	
	B1		B2		B3	
PH	6,3	ligeramente acido	6,6	ligeramente acido	6,1	ligeramente acido
°BRIX	3		4		4,2	
TEMPERATURA °C	17,4		17,5		17,5	
DENSIDAD	0,412	muy bajo	0,404	muy bajo	0,432	muy bajo
NITROGENO NITRATOS	10 ppm	medio	10 ppm	medio	10 ppm	medio
FOSFORO	100 ppm	alto	100 ppm	alto	100 ppm	alto
POTASIO	110 ppm	alto	110 ppm	alto	110 ppm	alto
MAGNESIO	25 ppm	medio	25 ppm	medio	25 ppm	medio
CALCIO	700 ppm	medio	700 ppm	medio	700 ppm	medio
NITROGENO NITRITOS	1 ppm	muy bajo	1 ppm	muy bajo	1 ppm	muy bajo
NITROGENO AMONIACAL	40 ppm	medio	40 ppm	medio	40 ppm	medio
NITROGENO TOTAL	51 ppm	medio	51 ppm	medio	51 ppm	medio
ALUMINIO	30 ppm	medio	30 ppm	medio	30 ppm	medio
HIERRO FERRICO	xxx		xxx		xxx	
SULFATOS	xxx		xxx		xxx	
MANGANESO	5 ppm	bajo	5 ppm	bajo	5 ppm	bajo

LABORATORIO GENERAL SUELOS UNIVERSIDAD DE BOLIVAR

DRA. EDITH YANEZ
TEC. LABORATORISTA

ANEXO 6

❖ FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

6.1.1 Elaboración de biodigestores caseros batch para la fermentación de desechos.





6.1.2 Toma de datos del pH en los desechos orgánicos domésticos de la ciudad de Guaranda.



6.1.3 Determinación del °Brix en los desechos orgánicos domésticos de la ciudad de Guaranda.



6.2 OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE

6.2.1 Recolección



6.2.2 Selección



6.2.3 Troceado



6.2.4 Licuado



6.2.5 Inoculación



6.2.6 Dosificación



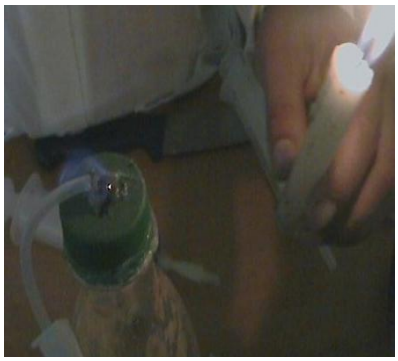
6.2.7 Fermentación



6.2.8 SEPARACIÓN

6.2.8.1 Obtención De Biogás





6.2.8.2 Residuos Sólidos





6.2.8.2.1 Secado





6.2.8.2.2 Pesado





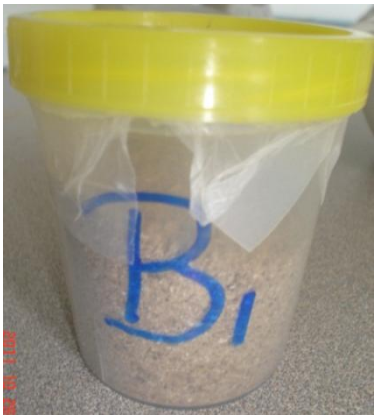
6.2.8.2.2 Molido





6.2.8.2.3 Almacenado





6.3 ANÁLISIS FÍSICOS EN BIOFERTILIZANTE

6.3.1 Densidad



6.3.2 pH Y °T



6.3.2 °Brix

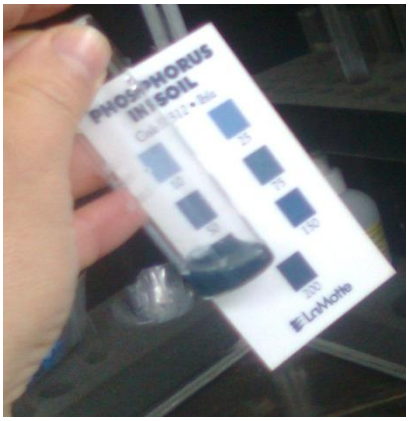


6.4 DETERMINACIÓN DE MACRO Y MICROELEMENTOS

6.4.1 Nitrógeno



6.4.2 Fosforo



6.4.2 Potasio



6.4.4 Magnesio



6.4.5 Calcio



6.4.6 Nitritos



6.4.7 Nitrógeno Amoniacal



6.4.8 Nitrógeno Total



6.4.9 Aluminio



6.4.10 Hierro Férrico



6.4.10 Sulfato



6.4.12 Magnesio



ANEXO 7

GLOSARIO

- **Biogás:** gas 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.

- **Biofertilizante:** es un fertilizante que proviene de animales, humanos, restos vegetales de alimentos u otra fuente orgánica y natural. En cambio los abonos inorgánicos están fabricado por medios artesanales, como los abonos nitrogenados (hechos a partir de combustibles fósiles y aire) o los obtenidos de minería, como los fosfatos o el potasio, calcio, zinc.

- **Biodegradación:** Se entiende como biodegradable al producto o sustancia que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.

- **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-, etcétera) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos.

- **Combustión:** es una reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz.

- **Carburador:** es el dispositivo que se encarga de preparar la mezcla de aire-combustible en los motores de gasolina.

- **Endoenzimas:** son aquellas enzimas que actúan en el interior de la célula.

- **Ignición:** temperatura mínima necesaria para que los vapores generados por un combustible comiencen a arder.

- **Meiosis:** es una de las formas de reproducción celular. Este proceso se realiza en las células sexuales. Es un proceso de división celular en el cual una célula diploide (2n) experimenta dos divisiones sucesivas, con la capacidad de generar cuatro células haploides

- **Mitosis:** En biología, la **mitosis** (del griego *mitos*, hebra) es un proceso que ocurre en el núcleo de las células eucarióticas y que precede inmediatamente a la división celular, consistente en el reparto equitativo del material hereditario (ADN) característico.

- **Nafta:** también conocido como éter de petróleo, es un derivado del petróleo extraído por destilación directa, utilizado principalmente como materia prima de la industria petroquímica, en la producción de alquenos, como etileno y propileo, así como de otras fracciones líquidas como benceno, tolueno y xilenos.

- **Sedimentación:** es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

- **Sustrato:** una molécula sobre la que actúa una enzima.

- **Vinaza:** es el subproducto líquido de la destilación del mosto en la fermentación del etanol.