

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“RENDIMIENTO DE BIOGÁS A PARTIR DE MEZCLAS ENTRE
ESTIÉRCOL DE VACUNO Y SUERO DE QUESERÍA MEDIANTE
DIGESTIÓN ANAERÓBICA”**

Presentada por:

MARISOL CARMEN ZAMBRANO DÍAZ

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima-Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**“RENDIMIENTO DE BIOGÁS A PARTIR DE MEZCLAS ENTRE
ESTIÉRCOL DE VACUNO Y SUERO DE QUESERÍA MEDIANTE
DIGESTIÓN ANAERÓBICA”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MARISOL CARMEN ZAMBRANO DÍAZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe
PRESIDENTE

Dr. Víctor Meza Contreras
PATROCINADOR

Dr. José Calle Maravi
MIEMBRO

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza
MIEMBRO

Dedicatoria

Dedico esta presente investigación a tres personas que me inspiraron y acompañaron a lo largo de la realización de este proyecto: a mi abuela Maximiliana, quien me motivo al amor por la naturaleza, a mi hijo Alejandro quien estuvo en mi vientre durante esta aventura y finalmente a Ariel por su compañía y apoyo generoso.

Agradecimiento

Quiero agradecer a todas aquellas personas maravillosas que hicieron posible el logro de este proyecto de investigación. Al Doc.Meza por su apoyo y exigencia durante la evaluación del proyecto. A Coga , por el apoyo en los análisis cromatograficos. Al Ing, Chirstian Diaz de Molical, por su apoyo y amistad. A mis padres por su incondicional apoyo durante mi formación profesional, a mis hermanas por su generosa colaboración y motivación constante y finalmente a mi esposo Saúl y mis hijos Alejandro y Esteban que me inspiran, me motivan y han podido sacar lo mejor de mi incluso en los momentos más difíciles que hemos podido pasar.....Gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Digestión anaerobia	
2.1.1 Generalidades	4
2.1.2 Procesos microbiológicos y bioquímicos de la digestión anaerobia	5
2.1.3 Ciclo del nitrógeno	11
2.1.4 Ácidos grasos de cadena larga	14
2.1.5 Tipos de biodigestores	14
2.2 Biogás	
2.2.1 Definición de biogás	18
2.2.2 Reseña histórica del uso de los biodigestores en el Perú	19
2.2.3 Experiencias en el tratamiento del suero de quesería	22
2.3 Suero de quesería	25
2.3.2 Influencia de los parámetros de control en los procesos de digestión anaeróbica del suero de quesería	26
2.3.3 Uso de reguladores de pH en la biodigestión del suero de quesería	29
2.3.4 Inhibición por lactosa en la generación de metano en el suero de quesería	29
2.4 Estiércol de vacuno	
2.4.1 Caracterización del estiércol de vacuno	30
2.4.2 Influencia de los parámetros de control en los procesos de digestión anaeróbica sobre	

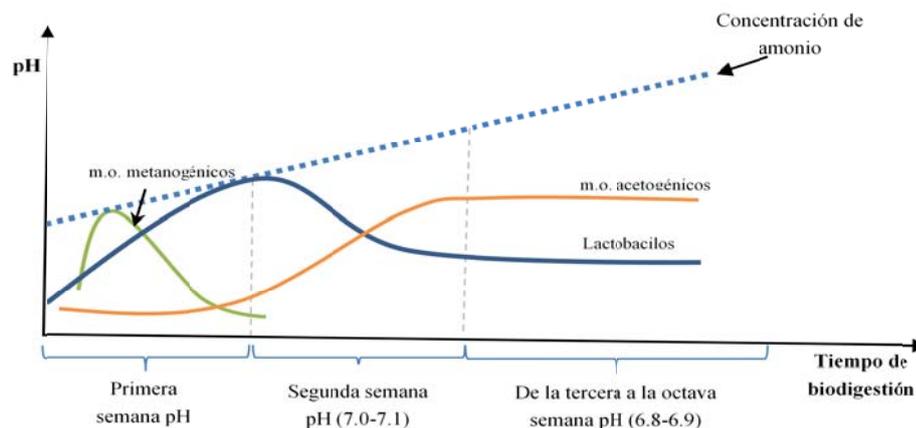
el estiércol de vacuno	30
2.4.3 Inhibición por lignina en la generación de metano a partir del estiércol de vacuno	31
2.5 Inhibición por ácidos grasos volátiles	32
2.6 Influencia del incremento del pH en la producción de ácidos grasos	32
2.7 Tecnologías convencionales utilizadas en el uso de suero de quesería	34
2.8 Aspectos legales relacionados al desfogue de efluentes y control de insumos fiscalizados	
2.8.1 Tomando como referencia la normativa vigente en nuestro país, tenemos para el desfogue de efluentes las dos siguientes normativas	35
2.8.2 Tomando como referencia la normativa vigente en nuestro país, tenemos para el control de insumos fiscalizados la siguiente normativa	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Ubicación del trabajo experimental	40
3.2 Descripción de los sustratos y aditivos usados	40
3.3 Instalación de los biodigestores	42
3.4 Procedimiento sobre el uso de los biodigestores	43
3.5 Métodos de análisis físico químicos	44
3.6 Métodos de análisis microbiológicos	44
3.7 Métodos de análisis fito tóxico	45
3.8 Métodos de análisis cromatográficos	46
3.9 Método estadístico	47
3.10 Diseño Experimental	47
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 Primera Etapa: Caracterización y acondicionamiento de la materia prima	48
4.2 Segunda etapa: Producción de biogás con mezclas entre estiércol de vacuno y suero de	

quesería.	64
4.2.1 Determinación de la proporción óptima entre estiércol de vacuno y suero de quesería para la producción de biogás.	64
4.2.2 Producción de biogás de la mezcla óptima, en un tiempo de retención de 60 días	71
4.2.3 Caracterización de biogás	78
4.2.4 Caracterización del biol	83
V. CONCLUSIONES	95
VI. RECOMENDACIONES	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	99
ANEXOS	107
Anexo 1: Dieta alimenticia del ganado vacuno de la Unid. Exp de Zootecnia-UNALM	108
Anexo 2: Prueba de germinación y toxicidad en semillas de maíz (<i>zea mairz</i>) para la determinación de la calidad de suero de quesería y biol de suero/estiércol proporción 1:7 (a 15 días de biodigestión).	109
Anexo 3: Caracterización físico/química del suero de quesería y del estiércol de vacuno.	113
Anexo 4: Caracterización cromatografica del biogás de las muestras del Experimento.	116
Anexo 5: Análisis microbiológicos de las muestras de biol con suero de quesería y estiércol.	121

“Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica”

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo determinar la producción de biogás a partir de diferentes proporciones entre estiércol de vacuno y suero de quesería, mediante el uso de biodigestores anaeróbicos con carga fija a una temperatura constante de 26°C (± 1) y a pH regulado con hidróxido de calcio. Para facilitar los procesos de biodigestión, la estabilización de las mezclas fue realizada en dos fases la primera aeróbica y la segunda anaeróbica. Se evaluaron las mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7; de las cuales se obtuvieron mejores resultados en la proporción 1:7 generando un volumen de biogás de aprox. 8 veces su mezcla inicial durante la primera semana de biodigestión, con un contenido de metano del 27.67%; al cabo de 60 días de biodigestión no se obtuvo más biogás. Para verificar la estabilización del biol de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7, se realizaron pruebas físico químicas, microbiológicas y de toxicidad a los 10 y 60 días de digestión. Además se pudo comprobar la influencia de la concentración de amonio sobre el pH y en el crecimiento de la carga microbiana involucrada a lo largo de las 8 semanas de biodigestión y es como se presenta a continuación:

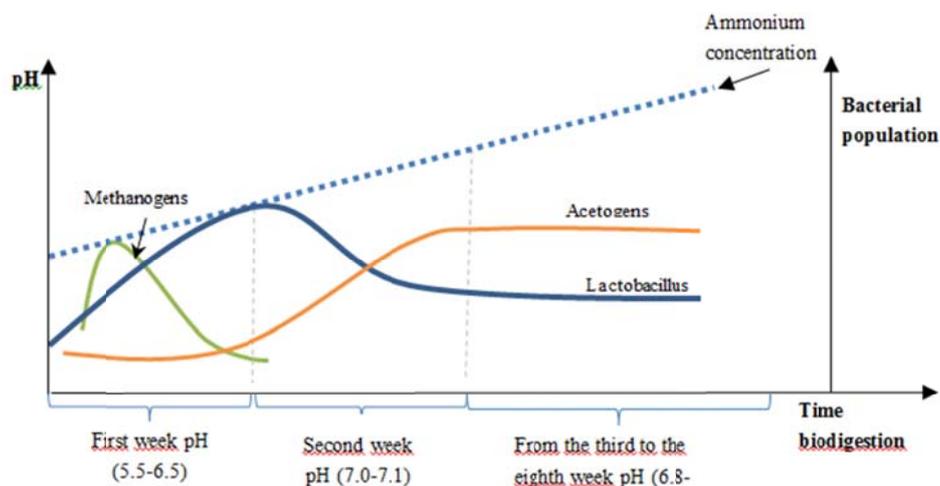


Palabras clave: digestión anaerobia, biogás, biol, suero de quesería, estiércol vacuno, cal, pH.

“Biogas performance from cow manure mixtures and cheese whey by anaerobic digestion”

ABSTRACT

This study aims to determine the production of biogas from different ratios of cow manure and cheese whey, using fixed charge of anaerobic digesters with a constant temperature of 26°C (± 1) and controlled pH using hydroxide calcium. To facilitate the biodigestion processes the stabilization of the mixtures was conducted in two phases, the first aerobic and the second anaerobic. Mixtures of cattle manure and cheese whey in the proportions of 1:3 , 1:5 and 1:7 were evaluated, from which the best results were obtained in the ratio 1:7, generating biogas which exceeded 8 times its initial volume during the first week of starting biodigestion with a methane content of 27.67 %. After 60 days biodigestion more biogas was not obtained. To verify the stabilization of the liquid fertilizer of manure/cheese whey at a ratio 1:7 mixture was performed chemical, microbiological and toxicity test at 10 and 60 days of digestion. Moreover, the influence of ammonia concentration on growth of the microbial load and pH involved along the 8 weeks of biodigestion is explained in the following graph:



Keywords: anaerobic digestion, biogas, cheese whey, cow manure, lime, pH.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de suero de quesería dentro de las industrias lácteas ha venido generando problemas ambientales. De hecho, la descarga continua de este suero sobre la tierra, está poniendo en peligro la estructura del suelo, tanto química como físicamente, debido a la acidez natural del suero, reduciendo los rendimientos de los cultivos y dando lugar a graves problemas de contaminación del agua subterránea (Ghaly y Ben-Hassan, 1989).

Aproximadamente el 47% de los 115 millones de toneladas de suero producidos en todo el mundo son eliminados cada año al medio ambiente (Leite *et al.*, 2000), (considerando que para la producción de un kilo de queso fresco se generan de 8 a 9 litros de suero), lo que representa una significativa pérdida de recursos ricos en nutrientes y agua, y causando a su vez serios problemas de contaminación, ya que el suero es un efluente contaminante de especial cuidado por contener un DBO₅ y DQO con valores de 40,000 a 60,000 mg/l y 50,000 a 80,000 mg/l respectivamente (Ghaly y Ben-Hassan, 1989).

La digestión anaerobia del suero de quesería, ofrece una solución en términos de ahorro energético y control de la contaminación. Las principales ventajas de este proceso son la eficiencia energética, el bajo costo, y la simplicidad del proceso, en comparación con otros métodos de tratamiento de residuos. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, la digestión anaerobia no está muy extendida en la industria láctea, en gran parte debido a los problemas relacionados a una pobre estabilidad y una acidificación rápida en dicho suero (Saddoud *et al.*, 2006).

Por otra parte, se conoce que los estiércoles son caldos de cultivo con una flora digestiva variada y completa. Valores que han sido desestimados, al punto de ser estas excretas despreciadas y mal empleadas.

Se ha venido realizando esfuerzos para la instalación de sistemas de digestión anaeróbica mediante el uso de geomembranas por ONG's, como es el caso de la ONG "Soluciones Prácticas", que ha instalado estos sistemas en la Zona de Cajamarca-Perú, los cuales son alimentados a partir de mezclas de excretas con agua e incluso con suero de quesería; no obstante, existe un desconocimiento de las proporciones adecuadas entre

el estiércol y el suero para una generación óptima de metano, así como del manejo adecuado del pH y temperatura durante este ciclo digestivo (Acosta, 2011).

En nuestro país existen 5 millones 37 mil 499 cabezas de ganado vacuno, teniendo Cajamarca el mayor porcentaje de ganado con un 14% seguido por Puno con 12 % y Ayacucho con 8 % (IV CENAGRO, 2012). Donde el consumo anual de leche en Perú es de 70 litros/persona, en el cual el 40% del acopio de la leche se deriva a la producción de queso (Zavala, 2013).

La presente investigación plantea una alternativa para el tratamiento de estos residuos en las zonas rurales del Perú, donde se elaboran manualmente quesos frescos con la leche proveniente de su propio ganado vacuno, donde se hace uso de la leña como combustible y no cuentan con alternativas para el manejo de residuos regenerados por esta actividad, teniendo además otros problemas generalizados presentes como la escasez de agua, luz y servicios sanitarios básicos. En este sentido, el presente trabajo está orientado a los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

- Determinar el rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica, obtenido artesanalmente.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar los valores físicos químicos de los sustratos: estiércol de vacuno y suero de quesería, para evaluar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de biogás.
- Evaluar la producción de biogás del estiércol de vacuno y al suero de quesería por separado en biodigestores de carga fija.
- Establecer una metodología para el pre tratamiento al suero de quesería, antes de someterla a procesos de biodigestión.
- Evaluar el mejor rendimiento para la producción de biogás de las mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería, en las proporciones 1:3, 1:5 y 1:7.

- Caracterizar la composición cromatográfica del biogás de la mezcla óptima, entre estiércol de vacuno y suero de quesería, para determinar su poder calórico.
- Evaluar los factores que han determinado o influido en la producción de biogás durante el tiempo de biodigestión planteado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Digestión anaerobia

2.1.1 Generalidades

La digestión anaerobia es un proceso de fermentación de la materia orgánica, que sucede dentro de sistemas de biodigestión, ocurre diariamente en el sistema digestivo de los organismos vivos, este proceso anaeróbico también se puede reproducir artificialmente mediante la tecnología que utiliza biodigestores tanto de carga fija o continua (ver Figura 1), que simulan condiciones adecuadas de temperatura, pH (relativamente neutro), movilidad, etc. Dando como resultado, al cabo de un período de fermentación, tres productos resultantes: biosol, biol y biogás (De la torre, 2008).

Tanto el biosol (lodo fertilizante semisólido precipitado), como el biol (líquido fertilizante), pueden ser utilizados como abonos orgánicos, mientras que el biogás es utilizado convencionalmente como combustible energético para la generación de calor y luz (Rodríguez, 2011).

Esto quiere decir que si se quiere usar tanto el biosol como el biol se tendrá que evaluar si el producto obtenido se encuentra ya estabilizado (libre de olor y de patógenos) y que no sea tóxico (esto dependerá del tipo de sustrato utilizado y del regulador de pH asignado), puede que para obtener estos requisitos se tenga que adicionar un tratamiento aerobio adicional después de la digestión anaerobia para una mejor estabilidad de los subproductos obtenidos (Zamora, 2006).

Por otro lado, si se desea utilizar el biogás se deberá medir la cantidad de metano presente en el mismo, para evaluar su rendimiento como fuente combustible o si se le debe de dar otro uso o desfogue.

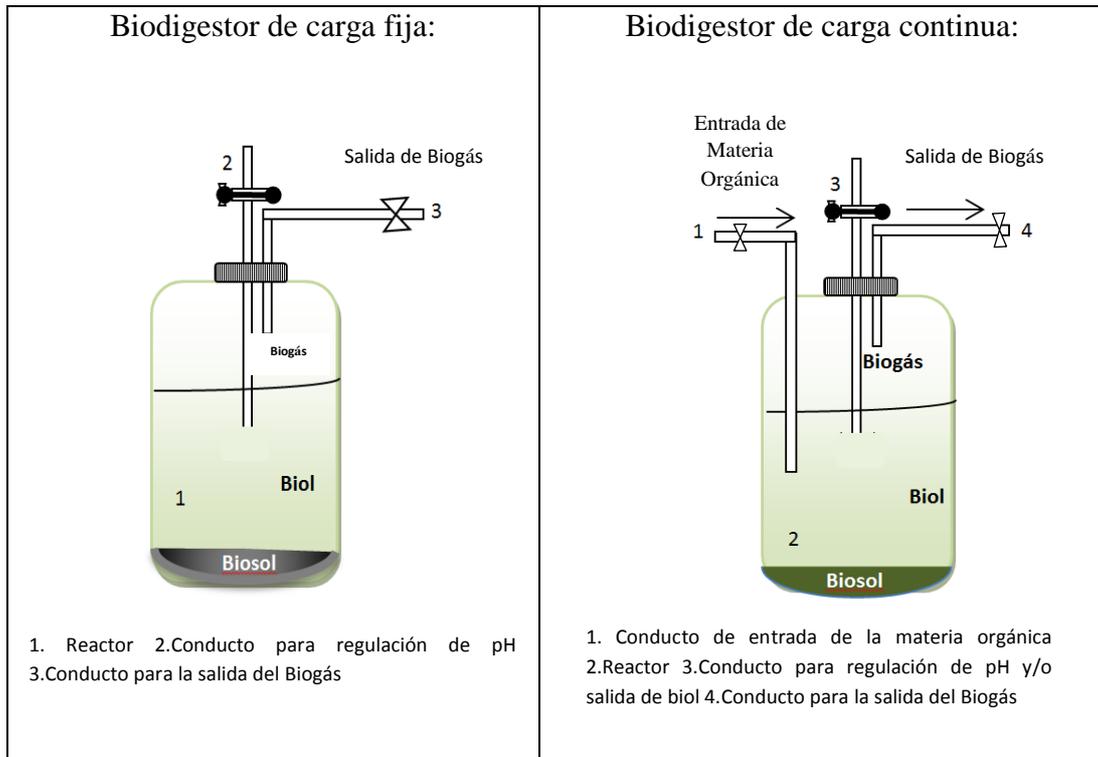


Figura 1. Tipos de Biodigestores.

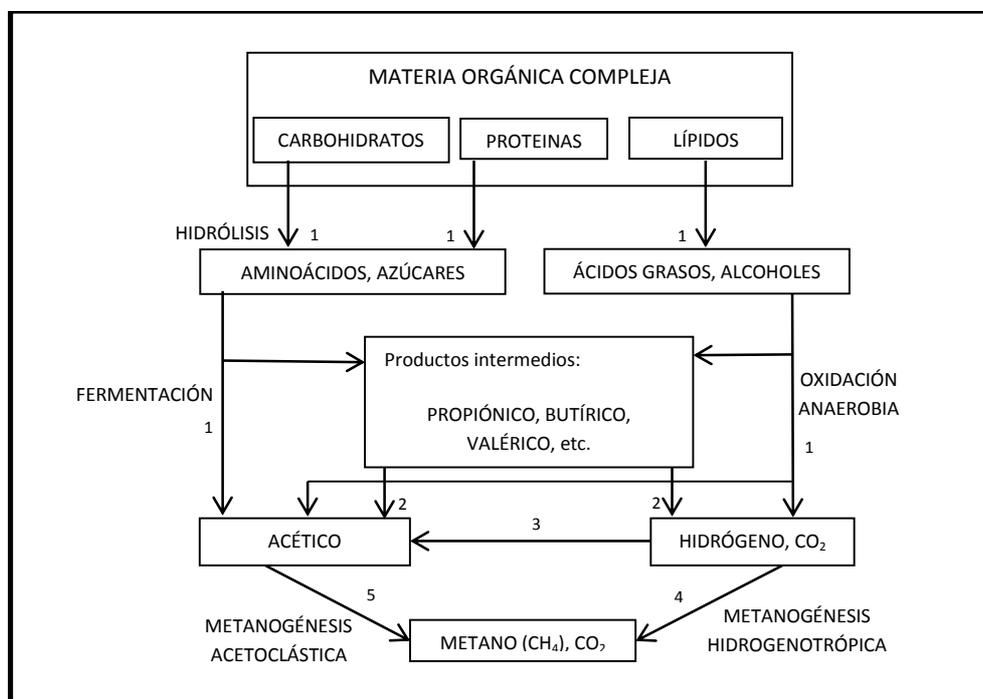
El diseño los biodigestores de carga fija y de carga continua han sido reproducidos de los modelos propuestos por Saico (2003), al cual se le han hecho algunas mejoras, para optimizar su funcionabilidad.

2.1.2 Procesos microbiológicos y bioquímicos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia de la materia orgánica es compleja, en ella se generan una serie de cambios tanto bioquímicos y microbiológicos que ocurren de manera simultánea (De la Torre, 2008), las cuatro fases más significativas son:

- a) Hidrólisis
- b) Etapa fermentativa o acidogénica
- c) Etapa acetogénica
- d) Etapa metanogénica

En la Figura 2. se muestra las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados (Marti, 2006).



Los números indican la población bacteriana responsable de cada proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Figura 2. Esquema de reacciones de la digestión anaerobia.

a. Hidrólisis

Como los microorganismos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular, la hidrólisis proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia mediante la acción de enzimas extracelulares, producidas por los microorganismos hidrolíticos, generando aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y alcoholes (Marti, 2006).

Los factores que afectan la hidrólisis son el pH (para la solubilización de partículas), variaciones de temperatura, tamaño de las partículas y presencia de sustancias tóxicas como por ejemplo el amonio que influye negativamente en la generación de peptonas (De la Torre, 2008), también altas concentraciones de ácidos

volátiles limitan la hidrólisis de carbohidratos y proteínas (De la Torre, 2008).

b. Etapa fermentativa o acidogénica

Se produce la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂), y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) las bacterias acidogénicas son facultativas es decir viven tanto en presencia como ausencia de oxígeno (De la Torre, 2008).

Marti (2006) indica que la principal ruta metabólica de degradación de glucosa para formar ácidos orgánicos es la de Embden-Meyerhof (ver Figura 3).

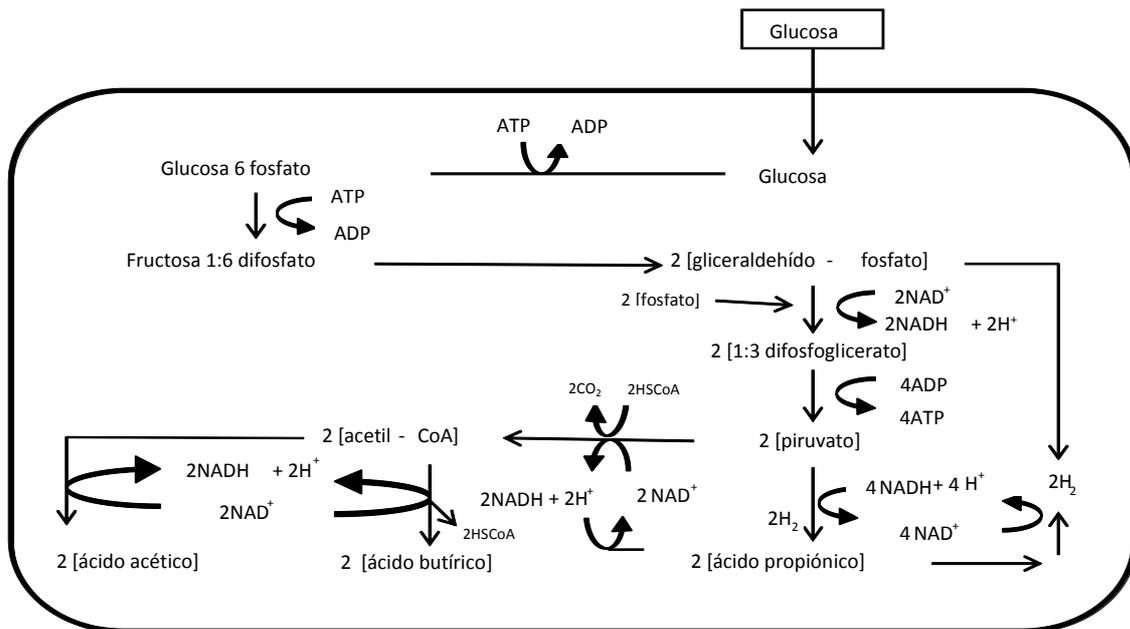


Figura 3. Simplificación de la ruta metabólica de Embden-Meyerhof de degradación de la glucosa de por las bacterias acidogénicas.

c. Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acético), otros (etanol, ácidos

grasos volátiles como valeriato, butirato, propionato, etc. y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H₂, a través de las bacterias acetogénicas (Marti, 2006). El principal inhibidor en la etapa acetogénica es la acumulación de hidrógeno molecular (De la Torre, 2008).

Las reacciones acetogénicas generadas se detallan a continuación (Marti, 2006):

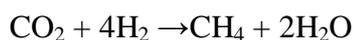
Cuadro 1. Reacciones acetogénicas que ocurren en los sistemas anaerobios.

Reacciones acetogénicas	ΔG^{01} (KJ)
Etanol y láctico:	
Etanol + H ₂ O \longrightarrow Acetato + H ⁺ + 2H ₂	+9.6
Lactato ⁻¹ + 2H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + H ⁺ + 2H ₂ + HCO ₃ ⁻	-4.2
Ácidos Grasos:	
Acetato ⁻¹ + 4H ₂ O \longrightarrow H ⁺ + 4H ₂ + 2HCO ₃ ⁻	+104.6
Propionato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + H ⁺ + 3H ₂	+76.1
Butirato ⁻¹ + 2H ₂ O \longrightarrow 2Acetato ⁻¹ + H ⁺ + 2H ₂	+48.1
Valerato ⁻¹ + 3H ₂ O \longrightarrow 3Acetato ⁻¹ + 2H ⁺ + 4H ₂	+96.2
Aminoácidos:	
Alanina + 3H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	+7.5
Aspartato ⁻¹ + 4H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + 2HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	-14.0
Leucina + 3H ₂ O \longrightarrow Isovalerato ⁻¹ + HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	+4.2
Glutamato ⁻¹ + 4H ₂ O \longrightarrow Propionato ⁻¹ + 2HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + H ⁺ + 2H ₂	-5.8
Glutamato ⁻¹ + 7H ₂ O \longrightarrow Acetato ⁻¹ + 3HCO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ + 3H ⁺ + 5H ₂	+70.3

d. Etapa metanogénica

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: *hidrogenotróficos*, que consumen H₂, CO₂ y fórmico y *acetoclásticos*, que consumen acetato, metanol y algunas aminas. Las principales reacciones metanogénicas se recogen en el Cuadro 2. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forman a partir del acetato (Marti, 2006; De la Torre, 2008).

Metanogénesis del hidrógeno: Algunos microorganismos de las etapas anteriores, han catalizado al metano de acuerdo a la siguiente reacción:



La acción de las bacterias metanogénicas en esta fase, es el factor determinante para el desarrollo de la fermentación anaerobia, debido a que estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y de acidez, además varían de acuerdo a la toxicidad de ciertos materiales presentes en el medio, ocasionando la reducción inclusive la paralización de la digestión (De la Torre, 2008).

Cuadro 2. Principales reacciones metanogénicas.

Reacciones hidrogenotróficas	ΔG^{01} (KJ)
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \longrightarrow$ Acetato + $4H_2O$	-104.6
$4H_2 + 4S^0 \longrightarrow 4HS^- + 4H^+$	-112.0
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135.6
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O$	-151.9
$4H_2 + 4fumarato \longrightarrow 4succinato$	-344.6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	-599.6
Interconversión formato-hidrogeno	
$H_2 + HCO_3^- \longrightarrow$ formato + H_2O	-1.3
Metalogénesis acetoclástica	
Acetato + $H_2O \longrightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31.0
Metalogénesis a partir de otros substratos	
Fórmico	
$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
Metanol	
$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
Trimetil-amina	
$4(CH_3)_3N + 6H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
Dimetil-amina	
$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
Monometil-amina	
$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	

Fuente: Marti (2006).

2.1.3 Ciclo del nitrógeno

El ciclo de nitrógeno consta de 4 etapas consecuentes y se presentan de la siguiente forma:

- a. Asimilación: Consta en el consumo del nitrógeno por las plantas (en forma de nitratos y amonio) y por los seres vivos que consumen las plantas.

- b. Producción de amoniaco:
 - b.1 Amonificación: Producción de amoniaco obtenido a partir de los desechos generados por las plantas y los seres vivos.
 - b.2 Fijación: Producción de amoniaco obtenido a partir de las bacterias que fijan el nitrógeno gaseoso en el suelo.

- c. Nitrificación: Consta en la transformación bacteriana de amoniaco en nitratos.

- d. Desnitrificación: Consta en la transformación bacteriana de nitratos a nitrógenos gaseoso.

En el ciclo de nitrógeno se puede observar que partir del nitrógeno orgánico se genera el nitrógeno amoniacal en un medio aerobio, a este proceso se le conoce como Amonificación.

Luego mediante la intervención de bacterias *nitrosomonas* (bacterias autótrofas), el nitrógeno se desdobla en nitritos y a su vez estos se desdoblan a nitratos mediante la intervención de bacterias *nitrobacter* (bacterias autótrofas), que requieren $O_2 > 1.5$ mg/L y pH 7.2-8.5, además presentan un tiempo de retención celular mayor a 5 días (Marti, 2006); a este proceso se le conoce como Nitrificación (ver Fig.4).

El proceso siguiente se le conoce como Desnitrificación (ver Fig.5) y consiste en la transformación de nitratos a nitrógeno gaseoso en condiciones anóxicas, donde un grupo de bacterias heterótrofas utilizan el oxígeno de los nitratos reduciéndolos a nitrógeno gaseoso, estas bacterias requieren fuentes de carbono orgánico (agua residual, metano, etanol, etc.) y presentan un tiempo de retención celular menor a 5 días (Marti, 2006).

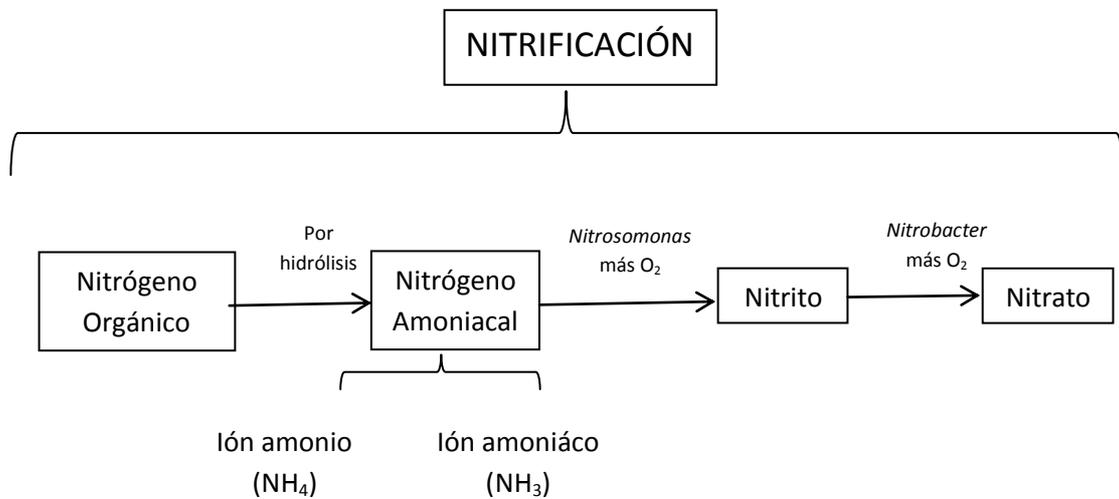


Figura 4. Componentes del Ciclo del Nitrógeno: Nitrificación.

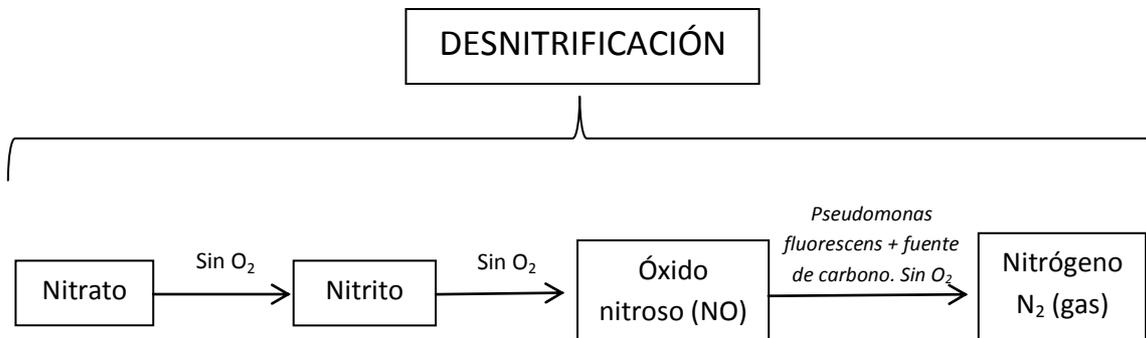


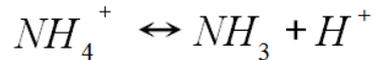
Figura 5. Componentes del Ciclo del Nitrógeno: Desnitrificación.

El Nitrógeno amoniacal

Como parte del proceso de Amonificación, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento (Campos, 2001).

El nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio (NH_4^+) y del amoníaco (NH_3). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del pH, tal y como indica la ecuación de equilibrio (Marti, 2006):

:



De las dos especies, la que parece inhibir el proceso de producción de biogás, es el amoníaco libre ya que se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta a pH alcalinos y temperaturas altas. Además, la cantidad de amoníaco libre depende también de la concentración del sustrato, de la relación C/N y de la capacidad tamponadora del medio. Obviamente, aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas u otros compuestos nitrogenados son los que presentan más problemas de inhibición por amonio (Campos, 2001).

Los principales microorganismos afectados a altas concentraciones de amonio son los metanogénicos, disminuyendo su velocidad de crecimiento a cambios bruscos de la concentración de amonio, mientras que la tasa de crecimiento de los microorganismos acidogénicos y acetogénicos en estas variaciones de amonio, no se ven afectadas (Robbins *et al.*, 1989).

2.1.4 Ácidos grasos de cadena larga:

Las grasas neutras (triglicéridos), son hidrolizadas rápidamente a ácidos grasos de cadena larga (AGCL). El efecto inhibitor de estos ácidos provoca un aumento de la duración de la fase Lag (Hanaki *et al.*, 1981), donde su absorción por la pared celular puede jugar un papel importante sobre la inhibición.

Su efecto tóxico se ha descrito como no reversible y las formas tóxicas son los ácidos grasos libres. El efecto inhibitor de los lípidos está muy relacionada con la adaptación de los microorganismos y prácticamente condicionados por la existencia de microorganismos acetogénicos, que degradan los AGCL, evitando así alcanzar concentraciones tóxicas (Rizema *et al.*, 1994).

2.1.5 Tipos de biodigestores

En el Perú los Programas Nacionales de Biodigestores (PNB) tienen previsto instalar principalmente 2 tipos de biodigestores, un modelo tubular que es de los más conocidos en la actualidad y el que más viene siendo instalado y un modelo de Domo fijo, que será introducido, conocido como modelo CAMARTEC (Acosta *et al.*, 2013).

Los biodigestores tubulares (ver Fig. 6), también llamados de tipo “Taiwán”, contienen una manga de plástico de polietileno o geomembrana de tipo tubular donde el biodigestor no va enterrado sino colocado dentro de una zanja de acuerdo al tamaño y volumen del biodigestor. Dependiendo de la zona geográfica donde se instale, se puede colocar dentro de un pequeño invernadero para protegerlo del clima, y así disminuir la variación térmica entre día y noche con el fin de conservar un ambiente adecuado para las bacterias.

En la práctica se ha demostrado que la geomembrana es un material más durable que el polietileno. Los biodigestores tubulares además pueden fabricarse de tamaños predeterminados, pueden repararse fácilmente en caso de roturas y son de fácil instalación y según Acosta (2011) es como sigue:

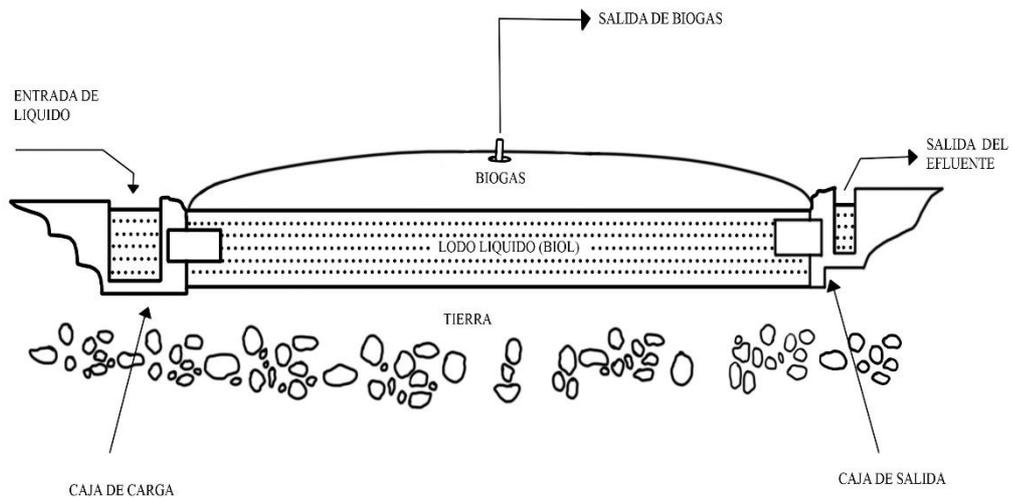


Figura 6. Diseño de un biodigestor Tipo Tubular o Tipo Taiwán.

Los biodigestores de Domo fijo (ver Fig. 7), están contruidos generalmente con ladrillos y cemento, Estos consisten en una cámara de concreto de forma circular con unas canalizaciones de entrada y salida y están completamente enterrados, el diseño según Campos (2001) es como sigue:

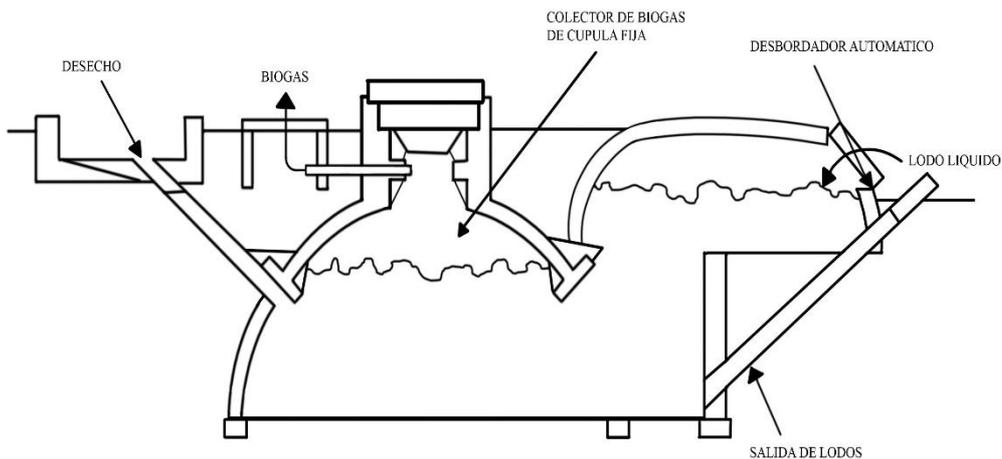


Figura 7. Diseño de un biodigestor de domo fijo, modelo CAMARTEC.

En el Perú se está proponiendo introducir el modelo CAMARTEC, desarrollado por el Centre for Agricultural Mechanisation and Rural Technology de Tanzania, de donde proviene su nombre, este modelo todavía no se ha construido en el país, y es un modelo promovido por La Fundación para el Desarrollo en los programas nacionales de biodigestores en Asia y África. Este modelo tiene la ventaja de reducir los costos del biodigestor de Domo fijo (a diferencia del modelo chino), simplificando y reduciendo la cantidad de materiales de construcción. En este modelo se reduce el tamaño de la cámara principal y se hace una segunda cámara de compensación, se obtiene un biogás con mayor presión que la obtenida con el biodigestor tubular y al estar enterrado no ocupa espacio en la superficie, lo que si requiere es un personal capacitado en su construcción y mantenimiento para el manejo de fugas de gases y fluidos (Acosta *et al.*, 2013).

En el país existen personas con experiencia en la instalación de biodigestores modelo chino (ver Fig. 8), sobre todo en algunas regiones como San Martín y Arequipa como ex técnicos de la empresa Gloria S.A. El modelo chino podría ser una alternativa, para algunos productores que soliciten su instalación en las zonas donde ya exista experiencia en su instalación (Acosta *et al.*, 2013). El diseño según Helenice (2003) de este biodigestor es como sigue:

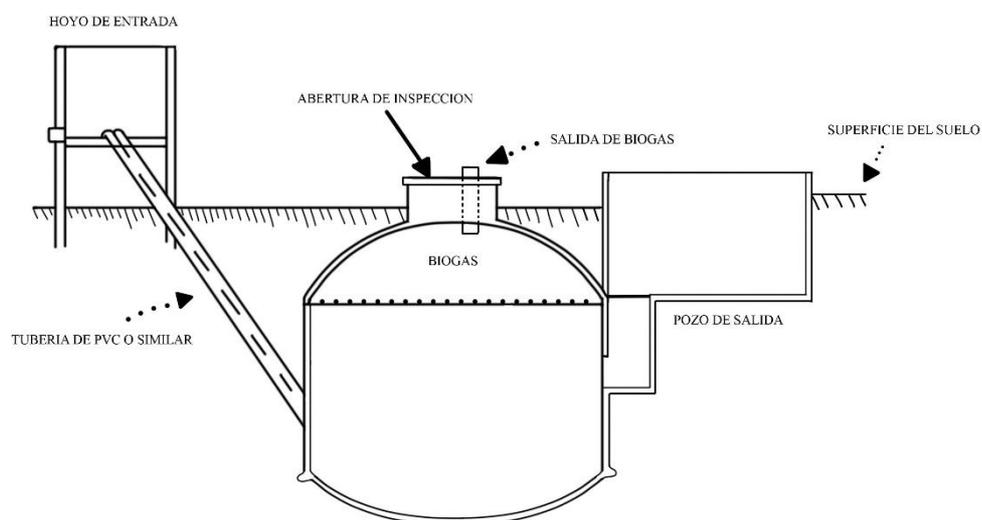


Figura 8. Diseño de un biodigestor modelo chino.

En el Programa Nacional de Biodigestores (PNB) de Perú, se instalarán biodigestores de modelo CAMARTEC y biodigestores tubulares de Geomembrana, se están contemplando ofrecer diferentes tamaños para ambos sistemas (Acosta *et al.*, 2013), los propuestos son:

Cuadro 3. Tamaños de los biodigestores sugeridos para el PNB en Perú

Geomembrana			CAMARTEC		
Vol. Total (m ³)	Dimensiones		Vol. Total (m ³)	Dimensiones	
	Diametro (m)	Largo (m)		Diametro (m)	Largo (m)
8.50	1.27	6.70	4.00	2.50	2.00
11.50	1.40	7.50	6.00	2.75	2.00
17.50	1.40	11.40	9.00	3.25	2.25

El rango de costos de acuerdo a los volúmenes de los biodigestores a instalar en el PNB según Acosta *et al.* (2013), se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Costo estimado de los biodigestores según tipo y volumen de carga.

Geomembrana	8.5 m³	11.5 m³	17.5 m³
Sub Total material (S/.)	1,709.54	2,203.80	2,782.30
Sub Total mano de obra (S/.)	325.00	350.00	400.00
TOTAL (S/.)	2,034.54	2,553.80	3,182.30
TOTAL (US\$)	767.75	963.70	1,200.87
Camartec	4m³	6m³	9m³
Sub Total material (S/.)	1,568.22	1,933.66	2,656.07
Sub Total mano de obra (S/.)	990.00	373.58	1,195.00
TOTAL (S/.)	2,558.22	2,307.24	3,851.07
TOTAL (US\$)	965.37	1,103.27	1,453.23

2.2 Biogás

2.2.1 Definición de biogás

Según el avance de la vigésima tercera edición de la Real Academia Española que se publicará el 2014, existe un concepto preliminar de biogás y es como sigue: “Gas, mezcla de metano y dióxido de carbono, producido por la fermentación bacteriana de los residuos orgánicos, que se utiliza como combustible”.

El concepto también viene siendo definido dentro de la legislación de algunos países por ejemplo:

-En España: El Decreto 169/2011, de 31 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética en Andalucía. Artículo 87 Definiciones: A efectos de lo dispuesto en el presente Capítulo, se entenderá por:

“Biogás: Gas obtenido a partir de la digestión anaerobia (descomposición en ausencia de oxígeno) de sustancias biodegradables y que puede ser usado energéticamente”.

-En República Dominicana: Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos NA-RS-001-03, Junio 2003; menciona dentro de sus definiciones el siguiente concepto:

“Biogás: mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos, compuesta principalmente de metano y dióxido de carbono”.

-En el Perú: Dentro del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles D.S. Núm. 021-2007-EM, indica de manera indirecta el concepto de biogás dentro de la definición de biocombustibles y es como sigue:

“Biocombustibles: Productos químicos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplen con las

normas de calidad establecidas por las autoridades competentes para su uso como combustible. Éstos pueden ser sólidos (biomasa), gaseosos (biogás, gas de gasificador u otros tipos de gas manufacturados a partir de residuos, carbón, etc.) o líquidos”.

Los conceptos anteriormente mencionados tienen en común acuerdo que el biogás está destinado para consumo energético como combustible. No obstante, en la legislación Alemana vigente existe un concepto más extendido en la Ley de concesión de prioridad a las fuentes de energía renovables (Ley de Energías Renovables - EEG) Versión consolidada (al por menor) del texto legal a partir de 1 Enero de 2012, que menciona:

- Biogás: gas, que se produce por la digestión anaeróbica de la biomasa.
- Biometano: producto o subproducto del biogás u otra biomasa gaseosa, que se ha inyectado a la red de gas natural.

Estas dos últimas definiciones aclaran el hecho de que es el metano presente en el biogás, el que se utiliza como combustible y no toda la masa de biogás es objeto de combustión para consumo energético.

2.2.2 Reseña histórica del uso de los biodigestores en el Perú

En el Perú, el interés en el uso del biogás empezó en 1979 con un convenio entre la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) y el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC).

La tecnología empezó a difundirse en Cajamarca y Puno, pero la UNC fue la primera en impulsar su investigación (2 biodigestores en el fundo la Victoria, 1979).

En 1981 se estableció el Centro de Investigación y Promoción de Energías No Convencionales (CIPENC), que se proponía seguir la investigación sobre el biogás a través del “Programa de Biogás”. En ese año, ITINTEC financió y ejecutó el primer “Programa de Investigación del Biogás” en el Perú.

En 1988, existían 108 biodigestores en el Perú y el 80% eran de tipo chino y de estos biodigestores chinos el 70 % tenían una capacidad entre 10 y 12 metros cúbicos. ITINTEC y la UNC financiaron la primera fase del programa y se construyeron biodigestores pilotos para demostrar el funcionamiento de la tecnología.

Un año antes ya se habían instalado 42 biodigestores en el departamento de Cajamarca, 38 en zonas rurales y otros 4 eran propiedad de la UNC y lo usaban con fines de investigación (Sánchez, 2011).

- a. Situación actual de los Biodigestores de los años 80: según Sánchez (2011), se realizaron visitas a 28 biodigestores y se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 5. Ubicación de los biodigestores muestreados.

Lugar	Número (% de los 28)	Características
Valle de Cajamarca	17 (65%)	Altitud 2,500 - 3,000 msnm
Zona Alto Andina	9 (29%)	Altitud más de 3,000 msnm
Ceja de Selva	2 (6%)	Altitud entre 400 - 750 msnm

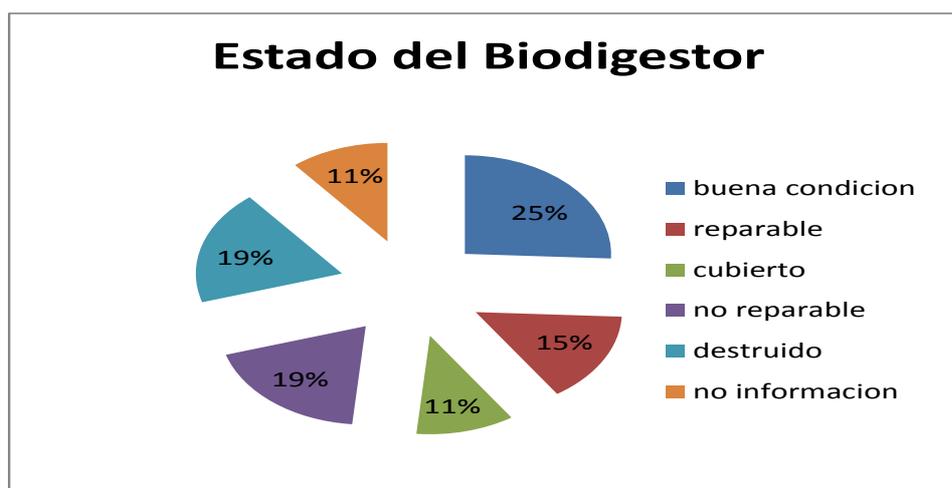


Figura 9. Situación actual de los biodigestores de los años 80.

b. Problemas del Programa de Biogás

Durante la instalación y operación de los biodigestores se encontraron varias dificultades técnicas, relacionadas a problemas de construcción, funcionamiento y mantenimiento.

No se contó previamente con un análisis más detallado en relación a los sustratos a utilizar y los factores de influencia sobre el proceso de biodigestión como son la temperatura y el pH.

c. Historia de la instalación de los biodigestores en el Perú del 2004 al 2013

En el año 2004, en el Cuzco, una colaboración entre el Institut de Tècniques Energètiques (INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y el Instituto para una Alternativa Agraria (IAA), se realizó un pequeño proyecto piloto donde se instalaron 2 biodigestores de plástico polietileno (PET), los cuales a pesar de sus limitaciones, funcionaron adecuadamente.

Desde el año 2007 se ha retomado la tecnología del Biogás en Perú gracias a Instituciones como Soluciones Prácticas, Ingenieros Sin Fronteras y la Universidad Politècnica de Catalunya (Acosta, 2011). Instalándose inicialmente 13 biodigestores tubulares en la zona de Yanaoca (Cuzco).

Ese mismo año Soluciones Prácticas, tras una pasantía en Bolivia con la GIZ, empezó a instalar biodigestores tubulares de polietileno en Cajamarca. Poco tiempo después cambio los biodigestores tubulares de polietileno por los de geomembrana, debido a la mala calidad del polietileno comercializado (Acosta *et al.*, 2013).

Por otro lado, empresas productoras de biodigestores de Geomembrana como COPLAST GROUP y CIDELSA han comercializado alrededor de 360 biodigestores que han sido instalados por diferentes instituciones en diferentes regiones del país (Acosta, 2011).

Existen en Perú experiencias en la instalación de biodigestores a mayor escala, donde destacan las experiencias del Fundo América en Arequipa, que es una empresa ganadera que se dedica a la producción de leche y tiene instalados dos biodigestores de geomembrana para el tratamiento del estiércol obtenido en el área de ordeño, el biol es utilizado en diferentes cultivos del fundo. Otra experiencia es la avícola La Calera en Lima, la cual es una empresa que tiene instalados 4 biodigestores de alta tecnología, donde el biogás generado es utilizado en la calefacción de pollos bebe y una fábrica de cartón de la empresa, mientras que el biol es utilizado en sus campos agrícolas como fertilizante (Flores, 2011).

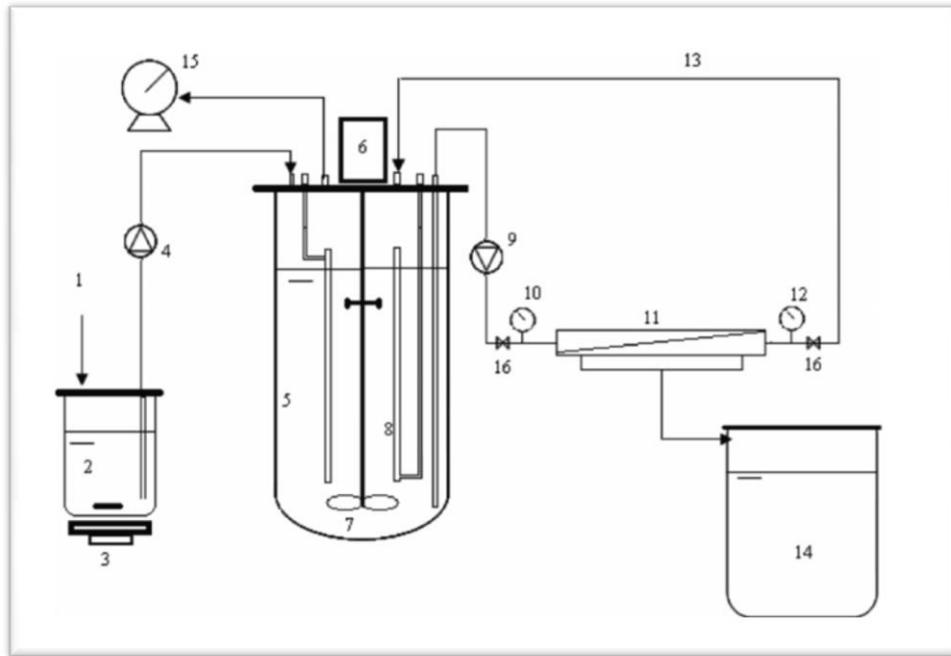
2.2.3 Experiencias en el tratamiento del suero de quesería

2.2.3.1 Digestión anaeróbica del suero en dos fases

Se han venido realizando décadas atrás estudios para el tratamiento del suero de quesería (Clanton *et al.*, 1987., Yan *et al.*, 1989., Ghaly y Ben-Hassan, 1989., Malaspina *et al.*, 1996., Ghaly, 1996 y Saddoud *et al.*, 2006). En los cuales debido a la alta carga orgánica que contiene el suero, se ha venido recomendando utilizar tratamientos de digestión anaeróbica, ya que procesos de tratamiento regular como el tratamiento con lodos activados podría resultar siendo inapropiado (Gavala *et al.*, 1999).

Investigadores como Ghaly (1996) y Saddoud *et al.* (2006), plantearon realizar un tratamiento al suero de quesería en dos etapas (ver Fig. 10), con la finalidad de propiciar procesos de hidrólisis y acidificación en la primera etapa; acetogénesis y metanogénesis en la segunda etapa.

A continuación se ilustra un esquema a escala laboratorio de un sistema de digestión anaeróbica, para el tratamiento de suero de quesería, planteado por Saddoud *et al.* (2006).



1. Suero de queso 2.Reactor acidogénico 3.Agitador magnético 4.Bomba 5.Reactor metanogénico 6.Regulador de velocidad 7.Agitador 8.Columna termostática 9.Bomba 10.Manómetro 11.Membrana de micro filtración 12.Manómetro 13.Reciclaje de biomasa 14.Tanque expansible 15.Medidor de gas 16.Válvulas.

Figura 10. Diagrama a escala laboratorio de un sistema de digestión anaeróbica con dos fases aplicado para suero de quesería.

Saddoud *et al.* (2006) dividieron el tratamiento del suero de quesería en dos etapas, tal como se muestra en el esquema planteado en la parte superior. En la primera etapa se colocó el suero dentro del reactor acidogénico, el cual fue regulado a un pH de 6.5 (el suero antes estuvo almacenado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tubo pH inicial de 4.5), esta primera etapa duró 24 horas a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una remoción constante.

La segunda etapa empezó al día siguiente donde el suero se trasladó al reactor metanogénico, y se mantuvo con una agitación constante de 200 rpm, una temperatura de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un pH que osciló entre 7.2 a 8.5.

Estas condiciones dieron lugar a una producción de biogás que excedió en 10 veces el volumen del reactor que lo contenía, nótese que el sistema de biodigestión utilizado fue de carga continua.

2.2.3.2 Biodegradación del suero lácteo utilizando cultivo mixto de levaduras con procesos continuos e intermitentes

La biodegradación del suero lácteo se dió mediante el uso de un cultivo mixto de levaduras conformado por: *Kluyveromyces lactis*, *Candida utilis* y *Saccharomyces microellipsodes*, el cual tuvo una alta eficiencia en la remoción de contaminantes del suero, sobretodo de la lactosa y DQO. El modelo consta de tres reactores colocados en serie, que contienen un sistema de burbujeo por cada reactor, con flujos bajos de alimentación del medio de cultivo. En el cual a una concentración de lactosa de 43.78 g/L y un flujo de 0.040 L/h, se obtuvo una eficiencia de consumo de lactosa de 99.53% y una eficiencia en la reducción del DQO en 86.07% (Ocampo *et al.*, 2000).

2.2.3.3 Aprovechamiento del suero mediante el uso de microorganismos eficientes (EM) por precipitación

Los microorganismos eficientes (EM) son una alternativa en la industria de lácteos para el tratamiento del suero producido como residuo en la industria quesera. Los EM son adicionados al 1 % al suero. La mezcla es sometida a un calentamiento de 94 °C, sin agitación, durante 10 minutos. Posteriormente se realiza un enfriamiento del suero a temperatura ambiente, formándose un precipitado en dicha solución; el cual luego es separado por filtración y el efluente resultante es desechado a un cuerpo receptor (Sánchez *et al.*, 2009).

Según este método se logró recuperar el 7.10 % del residuo de suero de quesería en la fase precipitada, convirtiéndose en una alternativa como materia prima para la elaboración de alimentos concentrados para animales y/o productos alimenticios para la nutrición humana.

La remoción de la demanda química de oxígeno alcanzada fue de 98 %, facilitando el vertimiento o disposición de este residuo líquido sin generar riesgos de contaminación ambiental (Sánchez *et al.*, 2009).

2.2.3.4 Depuración biotecnológica del suero empleando un sistema continuo mixto: reactor anaerobio de lecho fijo y reactor aerobio

Se trabajó con un modelo que constaba de dos reactores continuos, el primero constaba de un reactor anaerobio, relleno con rocas basálticas conectado consecutivamente a un segundo reactor aerobio, que contenía un sistema de burbujeo en la parte inferior, en ambos reactores se trabajó con la adición de consorcios microbianos anaerobios y aerobios respectivamente.

Se observó que a un caudal de 1ml del suero /min, se obtuvo una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de un 75 %, en comparación a los sistemas individuales anaerobios de lecho fijo (35.9 %) y aerobio (47 %), en relación al DQO (Zamora, 2006).

2.3 Suero de quesería

2.3.1 Caracterización del suero de quesería

La caracterización físico-química de los sueros de queso, constituyen un paso importante para la utilización de estos subproductos de la industria láctea en los distintos procesos industriales. Un estudio realizado por Miranda *et al.* (2008), como se observa en el Cuadro de abajo, realizó la caracterización físico-química comparativa entre el suero de queso fresco y del suero de queso madurado, del cual obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 6. Indicadores físico-químicos del suero de queso fresco y madurado.

Indicador	Suero de queso/ fresco	Suero de queso/ madurado
pH	6.620 ± 0.800	4.220 ± 0.500
Acidez, %	0.080 ± 0.020	0.320 ± 0.020
Densidad, g.cm-3	1.025 ± 0.020	1.024 ± 0.010
Materia seca, %	6.410 ± 0.700	6.400 ± 0.600
Grasa, %	0.330 ± 0.010	0.330 ± 0.020
Proteína bruta, %	0.960 ± 0.040	0.940 ± 0.030
Lactosa, %	4.670 ± 0.600	4.100 ± 0.050
Calcio, %	0.530 ± 0.020	0.510 ± 0.020
Fósforo, %	0.330 ± 0.030	0.310 ± 0.020

Según Miranda *et al.*(2008), la mayor acidez del suero de queso madurado en comparación a la del suero de queso fresco, pudiera atribuirse a 2 causas fundamentales. La primera de ellas, es que este suero provenga de una leche que ha sufrido transformaciones por la presencia de microorganismos incorporados de los cultivos lácteos añadidos a este tipo de quesos, la segunda causa podría deberse a una mala manipulación dentro del proceso productivo.

En ensayos realizados por Ramirez (2013), sobre la acidificación del suero de queso, se observó en muestras recién extraídas de suero de queso madurado, una acidificación a 5.5 de pH al cabo de 12 horas, llegando hasta 4.6 de pH al cabo de 12 horas más. Mientras que en muestras recién extraídas de suero de queso fresco, el pH se mantuvo casi constante entre 6.67 a 6.32, en las mismas condiciones de tiempo. Ambas muestras fueron analizadas a una temperatura ambiente de 18°C aprox.

Por ende es recomendable trabajar con suero de queso fresco conocido también como suero dulce, suero de quesería o lacto suero, debido a su mejor estabilidad de pH a lo largo tiempo (Miranda *et al.*, 2008).

2.3.2 Influencia de los parámetros de control en los procesos de digestión anaeróbica del suero de quesería

a. Influencia de la temperatura sobre el suero de quesería

La temperatura ejerce una importante influencia sobre determinados equilibrios químicos, donde a un aumento de temperatura se favorecerá la producción de soluciones no ionizadas, como ácidos grasos no ionizados y amoníaco, que resultan siendo tóxicos para el sistema, inhibiendo la producción de biogás (Campos, 2001).

Existen tres rangos principales de temperatura, el psicrófilo (por debajo de 25°C), mesófilo (entre 25 y 45 °C) y termófilo (entre 45 y 65 °C), que presentan una

tasa de crecimiento de metanogénicos específico para cada rango, como se muestra a continuación (Van Lier *et al.*, 1993):

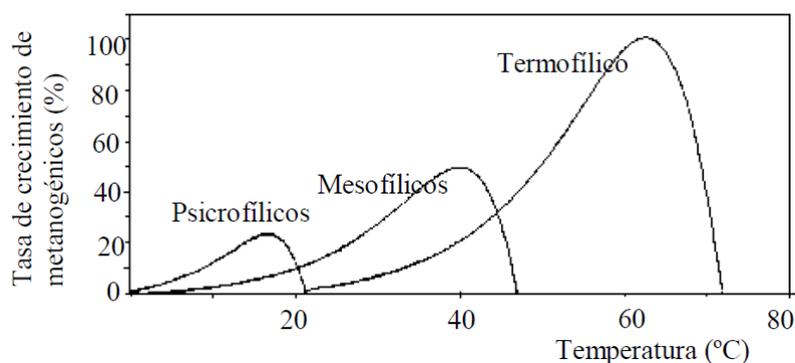


Figura 11. Tasa de crecimiento de los microorganismos metanogénicos en función al rango de temperatura.

Se ha venido realizando estudios sobre el comportamiento del suero bajo diferentes rangos de temperatura, tomando como base la temperatura óptima para la producción de biogás que oscila entre 25 y 35 °C (Ghaly, 1996), obteniéndose una mejor producción a 35 °C con un 50 % más de metano que a 25 °C. Trabajos similares con suero fueron realizados a 37 °C, donde la producción de biogás diaria excedió en 10 veces el volumen del biodigestor (Saddoud *et al.*, 2006).

La temperatura más utilizada en la digestión anaerobia es dentro del rango mesofílico, alrededor de 35 a 37 °C, aunque existe cierta tendencia de trabajar en el rango termofílico para conseguir una mayor velocidad del proceso y disminuir la presencia de microorganismos patógenos (Campos, 2001).

b. Influencia del pH sobre el suero de quesería

En procesos de digestión anaerobia al controlar el pH del suero de quesería entre 5.9 a 6.0, se logró obtener porcentajes de metano 10 % superiores que el producido a partir de estiércol de vacuno y agua (con pH de 6.9 a 7.1), trabajando en las mismas condiciones (Ghaly, 1996).

En estudios similares en Tunisia (África), se trabajó procesos de digestión anaerobia con el suero de quesería, elaborando muestras con y sin regulación de pH. Las muestras con regulación de pH se adecuaron inicialmente a un pH de 6.5 manteniendo un rango de pH entre 7.2 a 8.5 dentro de un periodo de 50 días, la muestra de suero de quesería sin control de pH mostro sin embargo una caída progresiva de pH de 6 a 3.5 de pH en el mismo tiempo (Saddoud *et al.*, 2006).

Cada grupo de microorganismos involucrados en la degradación anaeróbica tiene una región de pH óptima para su crecimiento (Marti, 2006):

- Fermentativos: 7.2-7.4
- Acetogénicos: 7.0-7.2
- Metanogénicos: 6.5-7.5

En un proceso de tratamiento anaerobio, el pH debería mantenerse próximo a la neutralidad dado que las bacterias acidogénicas también trabajan a pH cerca de la neutralidad y la etapa metanogénica es frecuentemente la etapa limitante.

c. Influencia de la concentración de ácidos volátiles sobre el suero de quesería

Pruebas realizadas por (Saddoud *et al.*, 2006) con suero de quesería a 37 °C con pH regulado a 6.5, mostraron una concentración de ácidos volátiles (entre 750 a 100 mg/l) donde el ácido acético y propiónico fueron los principales productos generados, formando el 63.7 % y 24.7 % del total de ácidos grasos volátiles respectivamente, durante los 50 días de digestión. No obstante, pruebas realizadas por Ghaly (1996) también con suero de quesería a 35 °C con pH regulado entre 5.9-6.0 con Na(OH), abortaron como resultado bajas concentraciones de ácidos volátiles (entre 5.6-0.1 mg/l.) durante 20 días de digestión.

Los ácidos grasos volátiles: acetatos, propionato, butirato y valerato han sido largamente reconocidos como los compuestos intermedios más importantes en los procesos anaeróbicos (ver Fig.2), ya que dan lugar a la generación de metano y han venido siendo propuestos como parámetros de control (Mechichi y Sayadi, 2005). De lo

que se podría deducir que a menor concentración de ácidos volátiles en el producto final mayor generación de metano.

2.3.3 Uso de reguladores de pH en la biodigestión del suero de quesería

A continuación se muestra un resumen sobre uso de aditivos para la regulación del pH en el suero de quesería realizado por diferentes autores y es como sigue:

Estudios realizados por Malaspina *et al.* (1996), indicaron que el suero de quesería tiene una tendencia a acidificarse rápidamente, donde la regulación del pH con bicarbonato (50 meq/l), elevaba su demanda química de oxígeno.

Otros ensayos realizados por Yan *et al.* (1989) señalaron que con una regulación del pH del suero de quesería entre 5.7- 6.0, mediante la adición de Na(OH), se obtuvo 50 % más de metano que trabajando con suero sin regulación de pH, además se incrementó la porción inorgánica en el biosol mejorando el asentamiento del material biomásico.

Usando un microprocesador dentro de sistemas de biodigestion, para el control de pH y comparando la eficacia de diferentes reguladores de pH, Clanton *et al.* (1987) obtuvieron biogás con concentraciones de metano entre 22.7 y 82.1%. Donde el más alto valor de metano se produjo a partir de Ca(OH)₂ y el valor más bajo de metano lo obtuvieron mediante el uso de NaHCO₃

2.3.4 Inhibición por lactosa en la generación de metano en el suero de quesería

La lactosa es fácilmente degradada por microorganismos anaeróbicos en ácidos orgánicos, lo cual podría inhibir la producción de metano y dióxido de carbono, dado que en un medio ácido se facilita el crecimiento masivo de bacterias con baja actividad específica y pobre estabilidad, dando como resultado tratamientos con baja eficiencia (Ghaly, 1996).

2.4 Estiércol de vacuno

2.4.1 Caracterización del estiércol de vacuno

El trabajo de investigación realizado por Ghaly (1996), para la obtención de biogás a partir de suero de quesería, utilizó como patrón referente al estiércol de vacuno, dicho trabajo presentó la siguiente caracterización física química.

Cuadro 7. Caracterización físico-química del suero de quesería y del estiércol de vacuno.

Parámetros	Suero de quesería	Estiércol vacuno
Sólidos Totales (mg/L)	65,930.0	65,870.0
Sólidos Volátiles (mg/L)	47,280.0	53,960.0
Sólidos Volátiles (%)	71.7	81.9
Sólidos No Volátiles (mg/L)	18,650.0	11,910.0
Sólidos No Volátiles (%)	28.3	18.1
DQO (mg/L)	72,220.0	74,880.0
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	11,450.0	4,460.0
pH	4.5	7.0

2.4.2 Influencia de los parámetros de control en los procesos de digestión anaeróbica sobre el estiércol de vacuno

a. Influencia de la temperatura sobre el estiércol de vacuno

Se han venido realizando pruebas de biodigestión con estiércol de vacuno ha temperaturas de 25 y 35 °C, que han dado como resultado mayor concentración de metano a mayor temperatura (Ghaly, 1996).

En Canadá, se realizaron pruebas en biodigestores anaerobios con muestras de estiércol de vacuno expuestas a 10 y 15 °C, que dieron como resultado mayores concentraciones de metano a 15 °C, con tiempos de retención de 250 días, aunado a menores porcentajes de sólidos totales presentes en la composición del estiércol (se

produjo 100 % más metano a 4.2 % de sólidos totales que a 9.2 %). (Massé *et al.*, 2000). Cabe mencionar además que biodigestores tubulares de distintas granjas canadienses mostraron que a diferentes épocas del año tales como otoño, invierno y a lo largo de la primavera, la temperatura dentro del biodigestor, puede mantenerse por encima de los 10 °C, no obstante requiere de una agitación diaria o semanal. Así también para fines de la primavera, verano y comienzos del otoño, el uso biodigestores por debajo del suelo contribuyen a mantener temperaturas más bajas minimizando emisiones de metano.

b. Influencia del pH sobre el estiércol de vacuno

El pH del estiércol de vacuno se muestra desde el inicio cerca a la neutralidad y así se mantiene a lo largo de los procesos de biodigestión, donde la temperatura y el tiempo de retención hidráulica no parecen ejercer efectos limitantes sobre el pH (Massé *et al.*, 2000). Cabe además mencionar que los tiempos de retención usuales para residuos ganaderos varían mucho según la fuente consultada y van de 10 a 30 días (Hobson, 1990).

c. Influencia de la concentración de ácidos volátiles sobre el estiércol de vacuno

La concentración de ácidos volátiles en la biodigestión del estiércol vacuno, está en función a la temperatura y el tiempo de retención hidráulica, donde a 25 días de biodigestión se han encontrando concentraciones preponderantes de ácido acético y propiónico a 25 °C, y concentraciones bajas de estos ácidos grasos volátiles a 35 °C, en el mismo tiempo (Ghaly, 1996).

2.4.3 Inhibición por lignina en la generación de metano a partir del estiércol de vacuno

La lignina está contenida dentro de la composición del estiércol de vacuno, debido al consumo habitual que el ganado tiene de pastos ricos en este componente, este compuesto influye en la digestibilidad de sustratos orgánicos, determina su

degradabilidad y por lo tanto influye el rendimiento del metano; un alto consumo de alimentos concentrados sobre todo en lignina, ocasionan un bajo rendimiento de metano. Una buena digestibilidad anaerobia del estiércol de vacuno es marcadamente influenciada por la dieta de los animales, una alta producción de metano se logra cuando la dieta alimenticia del ganado es más equilibrada (Amon *et al.*, 2007).

2.5 Inhibición por ácidos grasos volátiles

Los ácidos grasos volátiles muestran una rápida respuesta a la variación en sus concentraciones, por ejemplo, una acumulación de ácido propiónico no ionizado puede inhibir la acetogénesis y metalogénesis acetoclástica. Mientras que una acumulación de ácido acético puede inhibir la acetogénesis; sin embargo se necesitan concentraciones mayores de 4000 mg/L, para afectar la producción de metano. Por esto entre otras cosas, los ácidos grasos volátiles son los más importantes productos intermediarios generados en un proceso anaerobio, donde un incremento de su concentración generará una disminución en la producción de biogás (Campos, 2001).

La concentración de ácidos volátiles está en función de la temperatura, tipo de efluente, regulador de pH y retención hidráulica; donde a temperaturas más altas y tiempos de retención hidráulicas más largos, producirá menores concentraciones de ácidos volátiles. No es recomendable una alta concentración de ácidos volátiles en la fase acidogénica ya que podría dar lugar una inhibición o aletargamiento en la producción de biogás en las fases posteriores (Ghaly, 1996).

2.6 Influencia del incremento del pH en la producción de ácidos grasos

Existe una relación directamente proporcional entre el incremento del pH y la producción de ácidos grasos, detallada gráficamente según como sigue (Bermúdez, 1988):

Según Rittmann y McCarty (2001), para obtener condiciones estables dentro de un biodigestor, el contenido de ácidos volátiles debe oscilar entre 50 mg/L a 300 mg/L, lo que indicaría un pH entre 6.0 a 6.4 según la Figura 12. Por ende en el presente trabajo de investigación se procuró regular el pH entre 5.0 a 6.5.

Cabe señalar, que a concentraciones mayores de 4000 mg/L de ácido acético se produce inhibición de la acetogénesis (Campos, 2001), y que esta concentración sería proporcional según Bermúdez (1988) a un pH de 7.4 según la Figura 12.

2.7 Tecnologías convencionales utilizadas en el uso de suero de quesería

El valor nutricional del suero es reconocido ya hace muchos años. Convencionalmente el uso del suero de quesería se destina para dos actividades: como alimento para animales y para la producción de suero en polvo.

- Como alimento para animales:

El suero es empleado para alimentar vacas, becerros o cerdos, generalmente el suero más utilizado en este caso es el suero dulce de quesería, que se obtiene a partir del queso fresco al que todavía no se le ha añadido la sal, el suero proveniente de quesos sobre todo madurados, debido a la adición de cultivos lácticos, no es recomendable, ya que se fermentan rápidamente y afectan al animal si lo llega a consumir. Se requiere una refrigeración y aireación constante del suero para evitar su acidificación que puede llegar a producir corrosión en los tanques de almacenaje y corrosión acelerada en los dientes en el ganado (Ramírez, 2013).

- Producción de suero en polvo:

El suero en polvo se utiliza como sustituto de la leche para panificación, comidas instantáneas y energéticas, se puede obtener bajo diferentes metodologías como osmosis inversas, liofilización y atomización, no obstante el uso de estas

tecnologías son caras y solo se consideran rentables con una producción de suero mayor de 100 mil litros /día (Valencia, 2008).

Cabe mencionar que también se está utilizando actualmente al suero de quesería para la producción de yogurt adulterado, donde se mezcla el suero de quesería con leche en polvo, saborizantes, espesantes y colorantes artificiales para su comercialización (Ramírez, 2013).

2.8 Aspectos legales relacionados al desfogue de efluentes y control de insumos fiscalizados

2.8.1 Tomando como referencia la normativa vigente en nuestro país, tenemos para el desfogue de efluentes las dos siguientes normativas

a. DECRETO SUPREMO N°021-2009-VIVIENDA “Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”, de donde tomamos los Anexos 01 y 02 y se observa:

Cuadro 8. Anexos 1 y 2 del DECRETO SUPREMO N°021-2009-VIVIENDA “Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”

ANEXO N° 01			
PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO5	500
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100
ANEXO N° 02			
Valores Máximos Admisibles (1)			
PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Alumino	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Niquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH (2)	unidad	pH	entre 6 a 9
Sólidos sedimentables (2)	ml/L/h	S.S.	8.5
Temperatura (2)	°C	T	<35

- (1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.
- (2) Estos parámetros serán tomados de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una mezcla compuesta.

Donde el valor máximo admisible (VMA) significa la cantidad máxima admisible de la concentración de un contaminante o medida de parámetro físico químico, que se puede aceptar en un sistema de alcantarillado sanitario.

En un informe generado del efluente de la planta lechera de la UNALM, se analizó la concentración de DBO y de los sólidos suspendidos totales de los efluentes lácteos durante la producción de queso, donde se obtuvo 21 732 mg/L de DBO y 3471.8 mg/L de sólidos suspendidos el día (Arrieta *et al.*, 2011), estos valores exceden los Valores Máximos Admisibles (VMA) exigidos según ley (ver Cuadro 8). En los demás días donde se elaboran otros derivados lácteos, el efluente cumple con los VMA. Esto nos indicaría que si se tratara por separado solo el suero de quesería dentro de una planta lechera se podría cumplir holgadamente con los VMA exigidos por la legislación nacional.

b. DECRETO SUPREMO N^o 003-2010 MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de tratamiento de Aguas residuales domesticas o municipales”, de donde tomamos en Anexo que menciona:

Cuadro 9. Anexo del DECRETO SUPREMO N^o 003-2010 MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de tratamiento de Aguas residuales domésticas o municipales”

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	10,000
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	menor a 35

2.8.2 Tomando como referencia la normativa vigente en nuestro país, tenemos para el control de insumos fiscalizados la siguiente normativa:

a. DECRETO SUPREMO N^o 024-2013-EF” Decreto Supremo que especifica insumos químicos, productos y sus subproductos o derivados, objeto de control a que se refiere el Artículo 5° del Decreto Legislativo N°1126, que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas”.

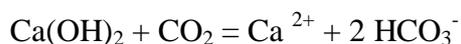
El presente decreto menciona en el Artículo 1 y Anexo 1, que el insumo químico Hidróxido de calcio Ca(OH)₂ conocido como cal hidratada, lechada de cal apagada, cal muerta; está sujeto a registro control y fiscalización por las autoridades pertinentes. No obstante su comercialización controlada se da cuando la concentración de la cal está por encima del 65% de pureza.

2.9 Uso de la Cal (Ca (OH)₂) en procesos de biodigestión

La cal es uno de los materiales de uso común en procesos digestivos junto con el hidróxido de sodio, bicarbonato de sodio, amoníaco, etc. Posee un bajo costo, disponibilidad y fácil manejo. Sin embargo su manejo implica riesgos debido a que su uso da lugar a la generación de reacciones nocivas cuando el pH se ha elevado por encima de 6.8 (Rittmann y McCarty, 2001).

Cuando la cal que es usada como regulador de pH, es agregada dentro del biodigestor, el CO₂ del biol es removido formando bicarbonato, dando lugar a la reacción que se da de la siguiente forma (Rittmann y McCarty, 2001):

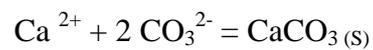
:



Esta reacción resulta ideal cuando hay una buena dosificación, sin embargo si se agrega más cal de la necesaria se agotará el CO₂ de la fase líquida, lo que hará que el

dióxido presente en la fase gaseosa pase a la fase líquida creando un desequilibrio en el sistema y generando vacío debido a la reducción de la presión total del gas. Lo que podría dar lugar a un colapso en el sistema de no corregirse este percance.

La formación de condiciones alcalinas mediante el uso de cal, también da lugar a las siguientes reacciones (Rittmann y McCarty, 2001):



A medida que la concentración de bicarbonato aumenta, también aumenta la concentración de carbonato de calcio, el cual puede estar en suspensión o puede formar incrustaciones dentro del sistema.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del trabajo experimental

La mayor parte del trabajo experimental fue desarrollado dentro de la Universidad Agraria La Molina, donde se desarrollaron actividades tales como: Instalación de los biodigestores en el laboratorio de Bioremediación. La realización de los análisis físicos en el laboratorio de Energías Renovables. La realización de los análisis físicos químicos en el laboratorio de Análisis Químicos y el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes.

Por otra parte otros análisis relacionados se llevaron de la siguiente forma:

Los análisis de cromatografía de gases se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa COGA S.A.C.

Los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa AMPAY PERU S.A.

3.2 Descripción de los sustratos y aditivos usados

3.2.1 Estiércol de vacuno

Se trabajó con muestras de estiércol de vacuno que fueron recolectadas del establo de ganado vacuno de la UNALM, con las excretas de las vacas de producción alta, ya que reciben la dieta mejor balanceada del establo y además están libres de antibióticos y hormonas (ver anexo 1), se extrajo muestras de estiércol frescas y recién excretadas, las cuales no tuvieron contacto con la orina del animal ni con excretas antiguas, y estuvieron almacenadas a una temperatura de refrigeración de 5 °C antes de su uso, el tiempo de almacenamiento no fue mayor a 24 horas.

3.2.2 Suero de quesería

Llamado también suero dulce, se trabajó con suero que fue recolectado de la planta de lácteos de la UNALM, y fue el obtenido a partir del procesamiento de queso fresco. A este suero no se le ha adicionado sal ni cultivos lácteos, las muestras estuvieron almacenadas a una temperatura de refrigeración de 5 °C antes de su uso, el tiempo de almacenamiento no fue mayor a 24 horas.

3.2.3 Inóculo

Se trabajó con el rumen de vaca como inóculo, el cual fue obtenido del camal de Yerbateros de Lima, que fue filtrado antes de su almacenamiento a una temperatura de refrigeración de 5 °C antes de su uso, el tiempo de almacenamiento no fue mayor a 5 horas (se trabajó con el líquido obtenido de la filtración), la proporción de inóculo a utilizar estuvo entre 6-8 %, proporción sugerida según Rodríguez (2011).

3.2.4 Agua

Se trabajó con agua destilada del Laboratorio de Bioremediación de la UNALM, que mantenía un pH entre 6.5 a 6.8.

3.2.5 Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂)

Llamado comúnmente Cal, usado como agente regulante de pH. Se trabajó con Cal a una pureza del 65 %, y fue proporcionada por el laboratorio de control de calidad de la empresa Molical. La Cal fue diluida con agua destilada en la proporción 1:2.

Se optó por trabajar con este insumo debido a su fácil manejo al momento de su dilución y fácil aplicación durante el control de pH; además de contar con un bajo costo, ya que el presente trabajo pretende brindar una tecnología orientada a pequeñas y/o medianas industrias que elaboren queso fresco de manera artesanal. Pudiendo utilizar el biol generado como fertilizante.

3.3 Instalación de los biodigestores

Se instalaron biodigestores anaerobios diseñados a escala piloto con carga fija, según la siguiente Figura (Saico, 2003):

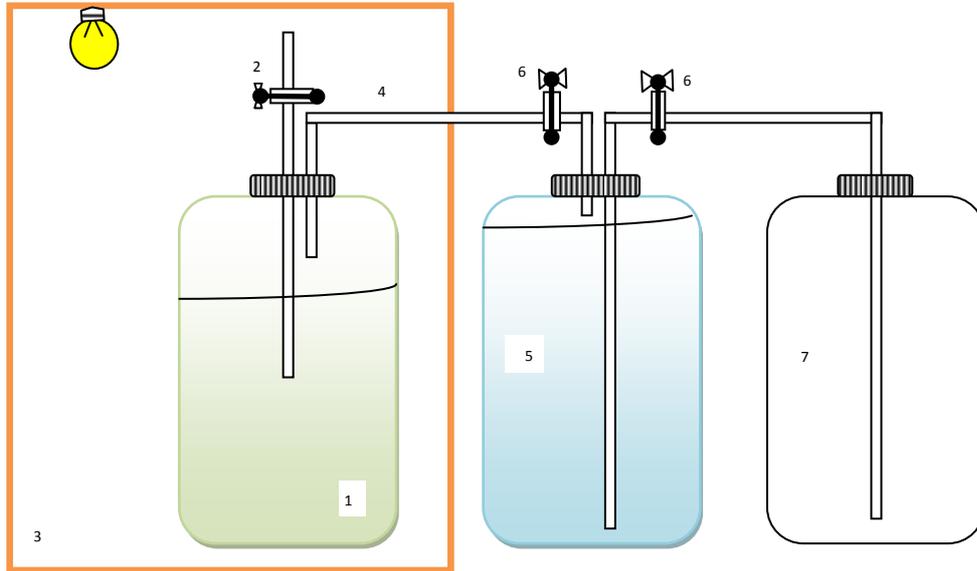


Figura 13. Partes de un Biodigestor con carga fija a escala piloto.

Leyenda:

1. Recipiente de plástico oscuro, que contiene la muestra a analizar.
2. Conducto de salida para muestreo y regulación del pH (del biol).
3. Cámara de incubación con foco, aislada térmicamente.
4. Conducto de salida del biogás.
5. Gasómetro (Depósito con agua que contiene un circuito para el desplazamiento del agua).
6. Válvula de seguridad.
7. Recipiente para recolección de agua desplazada.

3.4 Procedimiento sobre el uso de los biodigestores

- Materia Prima: se recepcionó los sustratos a utilizar.
- Acondicionamiento de las muestras: incluyo operaciones de reposo, filtrado, pesado, neutralización y mezcla, según correspondió cada prueba experimental.
- Envasado: se cargó las muestras acondicionadas dentro de los biodigestores debidamente codificadas en envases oscuros.
- Incubado: se colocó los biodigestores dentro de un depósito aislado térmicamente a una temperatura constante.
- Agitado y Regulación de pH: se procedió a regular cada 12 horas el pH con Cal a un rango entre 5.0 - 6.5, con su respectiva agitación.
- Producción de biogás: debido a las condiciones generadas sobre el sustrato, tales como una temperatura mesofílica constante y pH ligeramente neutro, se empezó a producir biogás, el cual por diferencia de presión fue conducido del biodigestor hacia el gasómetro (ver Figura 12), el biogás conducido desplazó el agua contenida en el gasómetro hacia un recipiente contiguo; generándose un mayor desplazamiento del agua a medida que el biogás se fue incrementando.
- Los costos relacionados a la instalación de presente sistema de biodigestión, según las condiciones expuestas líneas arriba, en base a las conexiones , depósitos, equipos de medición y cámara de incubación; rodearon los S/. 1,200. Se estima que para la producción de 1 m³ de biol de suero de quesería se podría llegar a requerir como mínimo de S/. 4,000.

3.4.1 Monitoreo de datos

Se registró el volumen de agua desplazada, que es el volumen proporcional a del biogás generado (Saico, 2003). También se registró periódicamente el comportamiento del pH durante todo el proceso.

3.5 Métodos de análisis físico químicos

- Temperatura: la medición de la temperatura dentro de la cámara fue mediante el uso de un bulbo de mercurio introducido dentro de la cámara de incubación, la variación de la temperatura generalmente fue de ± 1 °C.
- pH: la medición fue mediante el uso de un pH-metro digital de la marca PH-900-111-HENAN-ATC, utilizado periódicamente, dicho equipo también midió la temperatura del fluido en cuestión que fue generalmente una 1 °C menos que el de la temperatura de la cámara de incubación.
- Sólidos totales y sólidos volátiles: fue mediante el uso de una estufa, una mufla y una balanza digital donde se analizaron las muestras al inicio del proceso de digestión y al final del tiempo de retención indicado. El procedimiento se realizó de acuerdo a la metodología indicada en Standard Methods (APHA, 1992).
- Densidad: para determinar la densidad se utilizó el método volumétrico, determinando primero el peso en gramos y el volumen en mililitros del elemento en cuestión, para luego aplicar la formula correspondiente.
- Nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal, se determinó a través del método extraído del Manual de Laboratorio Jointly Published by the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Agricultural Research Center (NARC). Available from ICARDA, Aleppo, Syria. Pág. 172. ISBN 92-9127-118-7.

3.6 Métodos de análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se ejecutaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa AMPAY PERU S.A. y se realizaron de la siguiente forma:

- Población de Bacterias Coliformes Totales: se determinó a través del método AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Coliform and *Escherichia coli* counts in food - Dry Rehydratable Fil Methods. AOAC 991.14.
- Población de *Escherichia coli*: se determinó a través del método AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Coliform and *Escherichia coli* counts in food - Dry Rehydratable Fil Methods. AOAC 991.14.

- Población de Bacterias Mesófilo aerobios viables: se determinó a través del método AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Aerobic plate count in food - Dry Rehydratable Fil Method. AOAC 990.12.
- Población de *Lactobacillus sp.*: se determinó a través del método Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th edition. American Public Health Association (APHA). Downes, F.P., and K. Ito (eds.). 2001. Washington, D.C. USA.

3.7 Métodos de análisis fito tóxico

- Prueba de germinación: La prueba se realizó tomando como referencia el ensayo de toxicidad aguda, presentado por Sobrero y Ronco (2004), la prueba se llevó a cabo con semillas de maíz (*Zea maíz*), bajo el siguiente procedimiento:

Se realizaron cuatro ensayos a diferentes concentraciones de biol, para lo cual se alistaron cuatro soluciones con biol al: 0 % (testigo con agua destilada), 1 %, 10 % y 100 %.

Cada ensayo conto con diez placas petri desinfectadas y secas, a las que se colocó por dentro una lámina de papel filtro, luego se procedió a adicionar 6 ml por placa de la solución correspondiente.

Dentro de 10 placas petri por ensayo, se colocaron 10 granos de maíz por placa debidamente distanciados una de la otra, para evitar que sus radículas se entremezclen al momento de germinar.

Se cubrieron las placas con papel aluminio y se guardaron dentro de la incubadora a 22 °C, por una semana, para después se realizó el conteo de granos germinados y la medición de sus radículas, con el fin de determinar el Índice de Germinación (IG), donde:

$$\text{PGR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas del ensayo} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}}$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de radículas del ensayo} \times 100}{\text{Elongación de radículas en el testigo}}$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} \times \text{CRR}}{100}$$

Dónde:

PGR es el Porcentaje de Germinación Relativo.

CRR es el Crecimiento de Radícula Relativo.

IG es Índice de Germinación

Dónde:

- Si el Índice de Germinación (IG), es menor a 50 % el biol en cuestión es tóxico.
- Si el Índice de Germinación (IG), esta entre 50 - 80 % el biol se considera moderadamente tóxico.
- Si el Índice de Germinación (IG), es superior a 80 % el biol se considera no tóxico.

3.8 Métodos de análisis cromatográficos

- Cromatografía de gases: Los análisis cromatográficos para cuantificar los componentes del biogás obtenido, se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa COGA S.A.C. El equipo usado fue un cromatografo de gases de la marca GC Agilent 6890N, las muestras se analizaron según protocolo Agilent 490 Analizador de Biogás Micro GCs (AGILENT, 2013).

3.9 Método estadístico

Las muestras evaluadas constaron de tres repeticiones por ensayo, para medir el grado similitud entre las unidades experimentales asociadas, se usó como indicadores estadísticos la desviación estándar y el coeficiente de variación obtenidos mediante la aplicación del programa estadístico MINITAB 16, con un grado de incertidumbre del 5%.

3.10 Diseño Experimental

El diseño experimental o plan de investigación se realizó en dos etapas, y fue como sigue:

Primera Etapa: Caracterización y acondicionamiento de la materia prima (suero de quesería y estiércol de vacuno).

- 1° Recepción de la Materia Prima.
- 2° Caracterización de la Materia Prima.
- 3° Evaluación de la producción de biogás a partir de estiércol de vacuno y suero de quesería por separado.
- 4° Pre tratamiento del suero de quesería.

Segunda etapa: Producción de biogás de las mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería.

- 1° Determinación de la proporción óptima entre estiércol de vacuno y suero de quesería para la producción de biogás.
- 2° Caracterización de la mezcla óptima de estiércol de vacuno/suero de quesería.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Primera Etapa: Caracterización y acondicionamiento de la materia prima

4.1.1 Caracterización físico química del estiércol de vacuno y suero de quesería

Las muestras fueron recolectadas como se indica en la sección de materiales y métodos, los resultados se presentan en el Cuadro 10 y son como sigue:

Cuadro 10. Ensayo físico/químico del suero de quesería y el estiércol de vacuno.

Parámetros	Unid.medida	Suero de quesería	Estiércol vacuno
		Resultado	Resultado
pH	unidad	6.5	7.5
Densidad	g/ml.	1.024	1.06
Grasa cruda	g/100 g de muestra.	0.45	ND
Materia seca	g/100 g de muestra.	6.37	6
Proteína	g/100 g de muestra.	0.94	ND
Lactosa	g/ L. de muestra.	52.79	ND
	g/ 100 g de muestra.	5.23	ND

ND significa no determinado.

Los análisis de pH, densidad y materia seca, fueron desarrollados en el laboratorio de Bio remediación, con tres repeticiones por muestra, los demás análisis se detallan en el Anexo 3.

A continuación se desarrollará el análisis de los parámetros evaluados.

a. Del suero de quesería

a.1 En relación al pH

Normalmente la literatura reporta que el pH de suero de quesería es de 6.620 ± 0.800 (Miranda *et al.*, 2008), este rango de pH concuerda con el pH obtenido en la presente investigación, que fue de 6.5.

Pruebas similares con suero de quesería, empezaron su análisis experimental a pH bajo: de 4.5 (Ghaly, 1996) y 4.9 (Saddoud *et al.*, 2006), donde las muestras recolectadas fueron refrigeradas a -20 °C antes de su uso por varios días, con el fin de poder trasladar el suero desde los establos hacia el centro de investigación.

De lo que se deduce que la acidificación del suero se inicia prontamente y progresa aún a temperaturas muy bajas. Esto podría deberse a que la lactosa es fácilmente degradada en ácidos orgánicos por microorganismos anaeróbicos termotolerantes, generando un medio ácido que facilita el crecimiento masivo de bacterias con baja actividad específica y pobre estabilidad, dando como resultado tratamientos con baja eficiencia (Ghaly, 1996).

a.2 En relación a la materia seca y al porcentaje de lactosa

De los resultados vistos en el Cuadro 10, se obtuvo un contenido de lactosa de 52.79 g/L. Si se considera que el total de la materia seca es de 6.37 g/100 g de muestra, del cual 5.23 g/100 g de muestra es lactosa, se podría deducir que más del 80 % de suero expresado como materia seca es lactosa.

Saddoud *et al.* (2006), en muestras similares también determinaron un alto contenido de lactosa que fue de 45.9 g/L, donde el 62% de la lactosa por fermentación fue convertida en ácido láctico (18 g/L) y ácidos grasos volátiles (5 g/L).

a.3 En relación a la densidad

Del resultado mostrado en el Cuadro 10, la densidad del suero de quesería de 1.024 g/ml estuvo cercana a la del agua, y concuerda con la establecida según Miranda *et al.* (2008), la cual fue de 1.025 g/ml, calculada a 20 °C.

a.4 En relación a la proteína

Del resultado mostrado en el Cuadro 10, el contenido de proteína del suero de quesería de 0.94 g/100 g de muestra coincide con el obtenido con otros investigadores. Por ejemplo Miranda *et al.* (2008), obtuvo un contenido de proteína de 0.960 g/100 g de muestra y Ghaly (1996) obtuvo 1.12 gramos de proteína/100 g de muestra.

a.5 En relación al contenido de grasa

Del resultado presente en el Cuadro 10, se obtuvo un contenido de grasa de 0.45 g/100 g de muestra, valor que puede ser considerado bajo pero coincide con el obtenido con otros investigadores. Por ejemplo Miranda *et al.* (2008) obtuvo un contenido de grasa de 0.330 g/ 100 g de muestra en muestras similares.

En la fase de recepción del suero, a simple vista es imperceptible la presencia de grasa, no obstante después de un reposo superior a 12 horas se empieza a generar una natilla cremosa y espumosa en la parte superior del recipiente.

b. Del estiércol de vacuno

b.1 En relación al pH

Del resultado mostrado en el Cuadro 10, el pH obtenido de 7.5 coincide con otros autores, por ejemplo Ghaly (1996), obtuvo un pH de 7 y Masse *et al.* (2000) obtuvieron un pH de 6.8. No obstante, Del pozo (2008), en una muestra similar determinó un pH de 8.33. Cabe señalar que los autores ya mencionados no indican la edad del animal, tipo de alimentación recibida, o si la muestra de estiércol recolectada es fresca o habría sido recogida indistintamente del establo.

b.2 En relación a la materia seca

Del resultado mostrado en el Cuadro 10, el contenido de materia seca del estiércol de vacuno de 6 g/100 g de muestra, estaría en un punto intermedio entre los valores señalados según Masse *et al.* (2000), los cuales trabajaron con muestras similares, indicando a una muestra de materia seca de 8.7 g/100 g de muestra con “alto contenido de sólidos totales” y a una muestra de materia seca de 4 g/100 g de muestra con “bajo contenido de sólidos totales”, obteniendo una mayor producción de biogás con el segundo grupo de muestras.

A continuación se indica los valores obtenidos de la relación Carbono/Nitrógeno del suero de quesería y del estiércol de vacuno.

Cuadro 11. Relación Carbono/Nitrógeno del suero de quesería y del estiércol de vacuno.

Relación Carbono/Nitrógeno			
Muestra	Carbono	Nitrógeno	C/N
Suero de quesería	3.74%	0.13%	28.8
	38.3 g/L	1.31 g/L	
Estiércol vacuno	36.75%	2.07%	17.8

Speece (1987), menciona que una relación C/N óptima al inicio del proceso de descomposición de residuos es desde 15:1 hasta 30:1, si la relación C/N es más alta, la descomposición es más lenta, si la relación es menor se podría producir amoníaco gaseoso en procesos de descomposición, lo cual no solamente dañaría al medio ambiente sino también empeora la calidad del fertilizante orgánico obtenido.

De los resultados del Cuadro 11, se puede destacar que la relación C/N de 28.8 del suero de quesería se encontró dentro del rango óptimo para generar una adecuada descomposición según Speece (1987).

El contenido de nitrógeno de 1.31 g/L de suero de quesería obtenido según el Cuadro 11, se acercó al determinado por Saddoud *et al.* (2006) quienes indicaron un contenido de nitrógeno de 1.12 g/L. No obstante no se evaluó la naturaleza química del nitrógeno.

El estiércol de vacuno presentó una relación de C/N de 17.8, el cual no coincidió con el obtenido según Del pozo (2008), quien obtuvo una relación de C/N de 27.7 y Saico (2003) quien obtuvo una relación de C/N de 10.9.

Es importante señalar que el valor C/N esta en función de la dieta del animal, contando que según la edad del mismo dependerá la dieta a la que este sometida (Mucha, 2005).

4.1.2 Evaluación de la producción de biogás a partir de estiércol de vacuno y suero de quesería por separado

4.1.2.1 Del estiércol de vacuno

A continuación se presentan los resultados del Cuadro 12 que indican la medición de biogás y pH de la mezcla de Estiércol de vacuno/Agua (1:3).

Cuadro 12. Medición de Biogás y pH del estiércol de vacuno.

Producción de biogás a partir del Estiércol vacuno/Agua proporción (1:3)							
Día	Biogás del Estiércol Vacuno (ml)			Promedio (ml)	STD (ml/día)	CV (%)	pH
	1	2	3				
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7
1	450	420	440	436.7	15.3	3.50	7
2	1,000	980	990	990.00	10.00	1.01	6.80
3	960	940	980	960.00	20.00	2.08	6.80
4	500	600	700	600.00	100.00	16.67	6.80
5	500	900	800	733.33	208.00	28.39	6.80
6	1,000	1,110	1,540	1,216.00	285.00	23.45	6.80
7	1,490	1,710	1,670	1,623.33	117.20	7.22	6.90
8	1,190	920	880	996.67	168.60	16.92	7.10
9	1,420	1,310	1,430	1,386.67	66.70	4.80	7.10
10	1,350	1,500	1,400	1,416.67	76.40	5.39	7.30
Total de biogás (ml.) en 10 días.				10,359.33			
% de biogás (ml.) en 10 días.				1,304.70			

Condiciones de trabajo:

Proporción:	1 de Estiércol en 3 de Agua	Regulación del pH:	Ninguna
Estiércol (gr.):	264.5	Temp. de incubación:	34 °C (±1)
Agua (gr.):	794	Número de repeticiones:	3
Inóculo (al 6%, en gr.):	67	Desviación estándar:	STD
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Coefficiente de variación:	CV%
pH inicial del estiércol:	7.6	No determinado:	ND

Cabe señalar que la proporción de 1:3, es la proporción más adecuada para la generación de biogás a partir de esta excreta según Saico (2003).

Del Cuadro 12 se puede observar que durante los 10 días de evaluación hubo una producción constante de biogás llegando a producir hasta 1,304.70 % (13 veces más que el valor inicial). Ghaly (1996) trabajó en la producción de biogás con estiércol de vacuno a 25 °C y 35 °C, y a los 10 días obtuvo una producción de biogás de 0.15 m³ de biogás/kg de sólido volátil añadido y 0.20 m³ de biogás/kg de sólido volátil añadido respectivamente, ambas muestras con presencia de metano. Masse *et al.* (2000), también obtuvieron en una muestra similar, una producción de biogás con presencia de metano, durante los primeros 10 días de biodigestión, valor que después de este periodo bajo significativamente volviéndose a reactivar a los 150 días, esto a 15 °C y con un contenido de sólidos totales de 4.2 %.

Por consiguiente al trabajar a 34 °C (± 1) el experimento del Cuadro 12 con estiércol de vacuno/agua, generó la probabilidad de haber producido biogás con metano a los 10 días de biodigestión.

Cabe señalar además que los resultados reportados pueden variar influenciados por la temperatura, dieta del animal y las mezclas en los biodigestores, así por ejemplo en los biodigestores establecidos en los establos de México se ha reportado una producción de biogás de alrededor de 1.73 m³/vaca /día para un establo de 2000 vacas (Casas *et al.*, 2009). Mientras que en los biodigestores instalados en Perú se ha reportado una producción de biogás entre 0.6 a 1.1 m³/ vaca/ día (Rodríguez, 2011), lo que confirma que la producción de biogás puede depender de las condiciones particulares de cada establo.

En relación al análisis estadístico de las muestras del Cuadro 12, se pudo observar que el contenido de biogás de las unidades experimentales no guardó homogeneidad a lo largo del proceso de biodigestión, llegando a presentar los valores de heterogeneidad más altos los días 4, 5, 6 y 8, donde se obtuvieron porcentajes del coeficiente de variación (C.V. (%)) de 16.67, 28.39, 23.45 y 16.92 respectivamente.

4.1.2.2 Del suero de quesería

A continuación se presentan los resultados del Cuadro 13 que indican la medición de biogás y pH del suero de quesería en procesos de biodigestión.

Cabe señalar que las presentes muestras tomadas contuvieron su nivel de grasa natural, no tuvieron un reposo antes de su biodigestión y no se les reguló el pH durante proceso.

Cuadro 13. Medición de Biogás y pH de a partir del suero de quesería.

Producción de biogás a partir del suero de quesería							
Día	Biogás del Suero de Quesería (ml)			Promedio (ml)	STD (ml/día)	CV (%)	pH
	1	2	3				
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.00
1	1,200.00	1,320.00	1,254.00	1,258.00	60.10	4.78	5.42
2	1,240.00	1,190.00	1,164.00	1,198.00	38.60	3.22	5.32
3	800.00	750.00	724.00	758.00	38.60	5.10	4.81
4	145.00	152.00	162.00	153.00	8.54	5.58	4.16
5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.74
6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.71
7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.70
8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.70
9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.62
10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3.60
Total de biogás (ml.) en 10 días.				3,367.00			
% de biogás (ml.) en 10 días.				299.29			

Condiciones de trabajo:

Proporción:	Ninguna	Temp. de incubación:	34 °C (±1)
Suero de quesería (gr.):	1,058	Número de repeticiones:	3
Inóculo (al 6 %, en gr.):	67	Desviación estándar:	STD
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Coficiente de variación:	CV%
pH inicial del suero de quesería:	6.5	No determinado:	ND
Regulación del pH:	Ninguna	No detectado:	nd

Del Cuadro anterior se puede observar que la producción de biogás se generó a partir del cuarto día de digestión, donde el biol del suero de quesería se acidificó progresivamente durante los primeros 10 días a 34 °C (±1) hasta llegar a un pH de 3.6.

Ghaly (1996), también determinó un descenso de pH hasta 3.3 al biodigestar suero de quesería, en muestras a las que no se les reguló de pH; generando una producción de biogás de 0.025 m³ de biogás/kg de sólido volátil, a los 10 días de digestión, el cual además contuvo metano en bajas concentraciones.

En relación al análisis estadístico de las muestras del Cuadro 13, se puede observar que el contenido de biogás de las unidades experimentales guardó homogeneidad a lo largo del proceso de biodigestión, presentado un coeficiente de variación (C.V. (%)), relativamente constante.

Los resultados evidenciaron la necesidad de realizar un pre-tratamiento al suero de quesería antes de su biodigestión, por lo que se procedió a evaluar los requisitos necesarios para un adecuado acondicionamiento del suero de quesería, tal como sigue a continuación.

4.1.3 Pre tratamiento del suero de quesería

A continuación se presentan los trabajos experimentales que se realizaron al suero de quesería, para su acondicionamiento antes de su biodigestión.

4.1.3.1 Análisis comparativo de la producción de biogás de suero de quesería de muestras con y sin grasa

Sage *et al.* (2007), indicó que la presencia de grasa podría afectar y/o retrasar procesos de biodigestión, y considerando que el suero de quesería contiene grasa láctea, se evaluó la producción de biogás de suero de quesería con o sin grasa.

Cabe indicar que previamente se agregó al flujo de proceso la operación adicional de “acidificación del suero”, que consiste en hacer reposar el suero por 24 horas hasta llegar a un pH entre 5.0 a 5.5 a temperatura ambiente (entre 20 y 23 °C), tal como lo manejó en pruebas similares Saddoud *et al.* (2006). Luego al suero de quesería se le reguló el pH hasta 8.12, antes de biodigestarlo en la cámara de incubación. Luego

se procedió a una regulación del pH cada 8 horas a una temperatura de incubación de 34°C (± 1).

A continuación en los Cuadros 14, 15 y 16 se presentan la producción de biogás y manejo de pH de muestras de suero de quesería con grasa, sin grasa y el patrón de referencia (suero de quesería sin regulación de pH), respectivamente.

Cuadro 14. Suero con grasa: Producción de biogás y manejo de pH.

Día	Biogás de suero con grasa (ml)			Promedio (ml)	Producción acumulada (ml)	STD (ml/día)	CV (%)	pH
	1	2	3					
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.12
1	1,990	2,000	2,000	1,996.67	1,996.67	5.77	0.29	7.10
2	6,350	6,200	6,375	6,308.33	8,305.00	94.60	1.50	5.61
3	1,100	1,550	1,250	1,300.00	9,605.00	229.00	17.63	5.50
4	1,170	1,475	1,680	1,441.67	11,046.67	257.00	17.80	7.09
5	800	850	1,000	883.33	11,930.00	104.10	11.78	6.79
6	400	390	400	396.67	12,326.67	5.77	1.46	6.52
7	270	250	260	260.00	12,586.67	10.00	3.85	6.37
8	240	180	195	205.00	12,791.67	31.20	15.23	6.13
9	190	200	198	196.00	12,987.67	5.29	2.70	6.10
10	nd	nd	nd	nd	12,987.67	0.00	0.00	6.04
Total de biogás (ml.) en 10 días.				12,987.67				
% de Biogás a los 10 días				1,154.46				
11	50	130	nd	60.00	13,047.67	65.60	109.29	5.96
12	100	124	195	139.67	13,187.33	49.40	35.37	5.90
13	nd	150	nd	50.00	13,237.33	66.70	173.21	5.90
14	nd	nd	nd	nd	13,237.33	nd	nd	5.90
15	nd	nd	nd	nd	13,237.33	nd	nd	5.90
Total de biogás (ml.) en 15 días.				13,237.33				
% de Biogás a los 15 días				1,176.65				

Condiciones de trabajo:

Suero con grasa (gr.):	1,035	Aditivo para la regulación cte.:	Ca(OH) ₂
Inóculo (al 8 %, en gr.):	90	Ca(OH) ₂ añadida para su regulación:	3 ml por vez
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Coefficiente de variación:	CV%
pH inicial del suero de quesería:	5.90	Desviación estándar:	STD
pH inicial del Inóculo:	6.93	No determinado:	ND
Regulación de pH:	si	No detectado:	nd

Cuadro 15. Suero sin grasa: Producción de biogás y manejo de pH

Día	Biogás de suero sin grasa (ml)			Promedio (ml)	Producción acumulada (ml)	STD (ml/día)	CV (%)	pH
	1	2	3					
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.94
1	5,050	5,450	1,600	4,033.33	4,033.33	211.70	52.48	5.89
2	2,200	1,800	1,400	1,800.00	5,833.33	400.00	22.22	5.47
3	1,650	1,130	nd	926.67	6,760.00	844.00	91.03	5.29
4	1,800	nd	nd	600.00	7,360.00	1,039.00	173.20	5.49
5	500	nd	nd	166.67	7,526.67	1,039.00	173.21	7.07
6	0	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	6.80
7	0	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	6.61
8	0	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	6.41
9	0	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	6.35
10	0	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	6.20
Total de biogás (ml.) en 10 días.				7,526.67				
% de Biogás a los 10 días				669.04				
11	nd	nd	100	33.33	7,560.00	57.70	173.21	6.11
12	nd	nd	nd	nd	7,560.00	nd	nd	5.90
13	nd	nd	nd	nd	7,560.00	nd	nd	6.10
14	nd	nd	nd	nd	7,560.00	nd	nd	6.10
15	nd	nd	nd	nd	7,560.00	nd	nd	6.10
Total de biogás (ml.) en 15 días.				7,560.00				
% de Biogás a los 15 días				672.00				

Suero sin grasa (gr.):	1,035	Aditivo para la regulación cte.:	Ca(OH) ₂
Inóculo (al 8 %, en gr.):	90	Ca(OH) ₂ añadida para su regulación:	3 ml por vez
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Coficiente de variación:	CV%
pH inicial del suero de quesería desengrasado:	5.7	Desviación estándar:	STD
pH inicial del Inóculo:	6.93	No determinado:	ND
Regulación de pH:	si	No detectado:	nd

Para la extracción de la grasa del suero de quesería, se puso a reposar el fluido por 24 horas a temperatura entre 20 y 23 °C., llegando a en estas condiciones a un pH entre 5.0 a 5.5, luego fue extraída una ligera y espumosa natilla generada en la superficie superior del recipiente.

Cuadro 16. Suero con grasa (patrón): Producción de biogás sin regulación de pH.

Día	Biogás de suero sin grasa (ml)			Promedio (ml)	Producción acumulada (ml)	STD (ml/día)	CV (%)	pH
	1	2	3					
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.55
1	1,190	1,200	1,210	1,200.00	1,200.00	10.00	0.83	5.50
2	1,800	2,020	2,000	1,940.00	3,140.00	121.70	6.27	5.23
3	350	610	500	486.67	3,626.67	130.50	26.82	5.07
4	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	5.09
5	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.88
6	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.77
7	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.53
8	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.34
9	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.27
10	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.25
Total de biogás (ml.) en 10 días.				3,626.67				
% de Biogás a los 10 días				322.37				
11	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.20
12	nd	nd	nd	nd	3,626.67	nd	nd	4.30
13	nd	100	nd	33.33	3,626.67	57.70	173.21	4.20
14	nd	nd	nd	0.00	3,626.67	nd	nd	4.20
15	nd	nd	nd	0.00	3,626.67	nd	nd	4.20
Total de biogás (ml.) en 15 días.				3,660.00				
% de Biogás a los 15 días				325.33				

Suero fresco (gr.):	1,035	Regulación pH:	no
Inóculo (al 8 %, en gr.):	90	Coeficiente de variación:	CV%
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Desviación estándar:	STD
pH inicial del suero de quesería fresco:	7	No determinado:	ND
pH inicial del Inóculo:	6.93	No detectado:	nd

A continuación, en la Figura 14 se presenta gráficamente la producción acumulada de biogás.

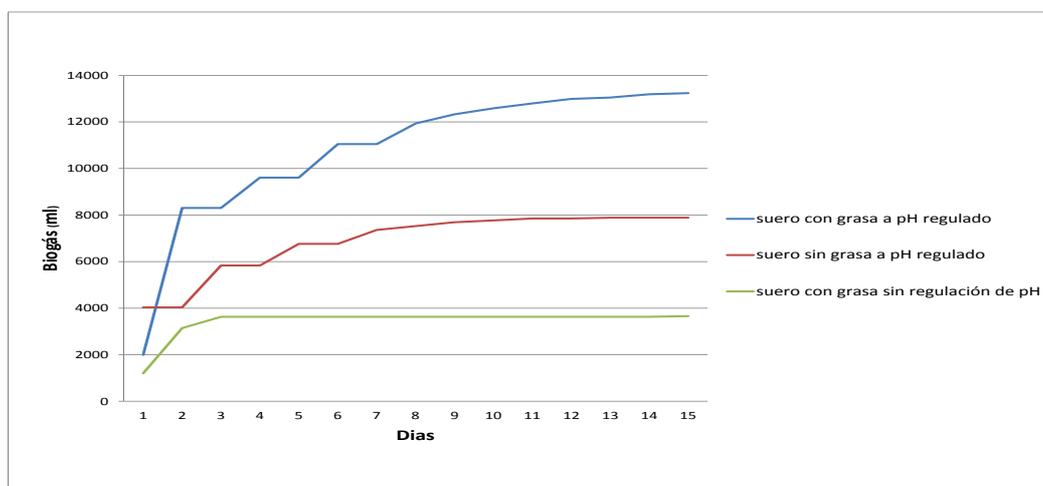


Figura 14. Producción acumulada de Biogás a partir de suero de quesería.

Del análisis de los Cuadros 14 y 15, se pudo observar que las muestras de suero con grasa produjeron más biogás que las muestras de suero sin grasa, llegándose a generar 1,154.46 % de biogás (11 veces más que su volumen inicial), a los 10 días de biodigestión, valor que se mantuvo casi constante hasta los 15 días de proceso. En comparación a un rendimiento menor de biogás a partir del suero sin grasa, que obtuvo 669% de biogás (6 veces más que su volumen inicial) en 10 días de digestión, valor que se mantuvo casi constante hasta los 15 días de proceso digestivo, obteniéndose una mayor producción acumulada de biogás a partir de suero de quesería con grasa a pH regulado (ver Fig. 14).

Sage *et al.* (2007), determinaron que la presencia de ácidos grasos saturados perjudica la degradación de la grasa láctea y la generación de biogás, por lo que un tratamiento de pre acidificación aeróbica (reposo), ayuda a generar bajos niveles de este componente en la grasa láctea y mejoran la producción de biogás. Acto que podría justificar la mayor producción de biogás en las muestras de suero de quesería con grasa, las cuales fueron sometidas a reposo antes de su digestión.

Además la poca influencia que ejerce la grasa en el suero de quesería, para inhibir la producción de biogás en el presente trabajo de investigación, podría sustentarse por la adición periódica de Cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), ya que al contener Calcio, este disminuye el efecto tóxico de los ácidos grasos de cadena larga, debido a su precipitación como sales cálcicas (Angelidaki *et al.*, 1990).

Del análisis del Cuadro 16, se pudo observar que la muestra de suero con grasa y sin regulación de pH, usada como patrón de comparación, tuvo una producción de biogás durante los primeros 3 días, donde mantuvo un pH superior a 5.0, el posterior descenso de pH hasta 4.2 al día 15, conllevó a una nula producción de biogás; llegando a producir 322.37 % de biogás (3 veces más que su volumen inicial), valor que no coincide con Ghaly (1996), quien obtuvo biogás de forma constante aunque en poca cantidad, en muestras similares sin regulación de pH durante 20 días de biodigestión, no obstante, él trabajó con biodigestores de carga continua y reguló el pH con $\text{Na}(\text{OH})$.

Por otra parte cabe mencionar que Ghaly (1996), en trabajos relacionados a la biodigestión de suero de quesería usó tiempos retención de 10, 15 y 20 días; Saddoud *et al.* (2006) utilizaron en muestras similares un periodo de retención de 50 días. Y debido al comportamiento del biogás generado a partir de suero de quesería de los cuadros 14 y 15 del presente trabajo, se decidió trabajar con un tiempo de retención de 15 días, en las pruebas posteriores, hasta llegar a la etapa final, donde se ejecutarán ensayos con un tiempo de retención de 60 días.

Como la regulación del pH se realizó cada 8 horas a 34 °C (± 1), lo que resultó siendo tedioso de controlar manualmente, y a fin de conseguir un biol lo más establemente posible a ser regulado cada 12 horas, se procedió a evaluar un análisis comparativo del comportamiento del pH del suero de quesería, a una temperatura de 26 °C (± 1) y de 34°C (± 1), como sigue a continuación.

4.1.3.2 Análisis del pH del suero de quesería en función a la temperatura

Se continuación en el Cuadro 17 se presenta el comportamiento del pH de muestras de suero de quesería a 26 °C (± 1) y 34 °C (± 1).

Cuadro 17. Comportamiento de pH del suero de quesería en función a la temperatura

Tiempo (hora)	pH del suero a 26°C (± 1)	pH del suero 34°C (± 1)
0	6.6	6.60
1	6.62	6.65
2	6.59	6.61
3	6.6	6.57
4	6.57	6.52
5	6.55	6.11
6	6.35	6.00
7	6.26	5.41
8	5.95	5.21
9	5.7	5.14
10	5.6	5.06
18	5.52	4.82
21	5.46	4.56
24	5.42	4.15
27	5.38	3.98
33	5.46	3.86

pH del suero a 26 °C (± 1)		pH del suero a 34 °C (± 1)	
Desviación estándar prom.	Coficiente de variación prom.	Desviación estándar prom.	Coficiente de variación prom.
12.3	1.02	16.1	2.02

Del Cuadro 17 se puede observar que a una temperatura de 26 °C (± 1), el suero de quesería alcanzó un pH de 6.60 a 5.46, en 33 horas de biodigestión; por otro lado, a 34°C (± 1), el suero de quesería alcanzó un pH de 6.60 a 3.86, en el mismo tiempo.

Si consideramos que el valor mínimo de pH aceptable para el crecimiento los microorganismos acidogénicos es de 5.0 (Rittmann y McCarty, 2001), se podría indicar que a 26°C (± 1) existe una mejor disposición del suero de quesería a ser regulado cada 12 horas.

A continuación en la Figura 14 se presenta gráficamente el comportamiento del pH del suero de quesería a 26 °C (± 1) y 34 °C (± 1).

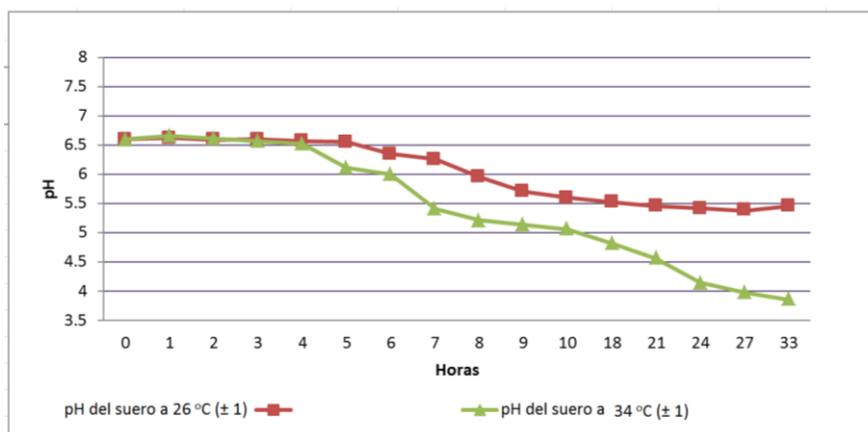


Figura 15. Tendencia del pH del suero de quesería en función a la temperatura.

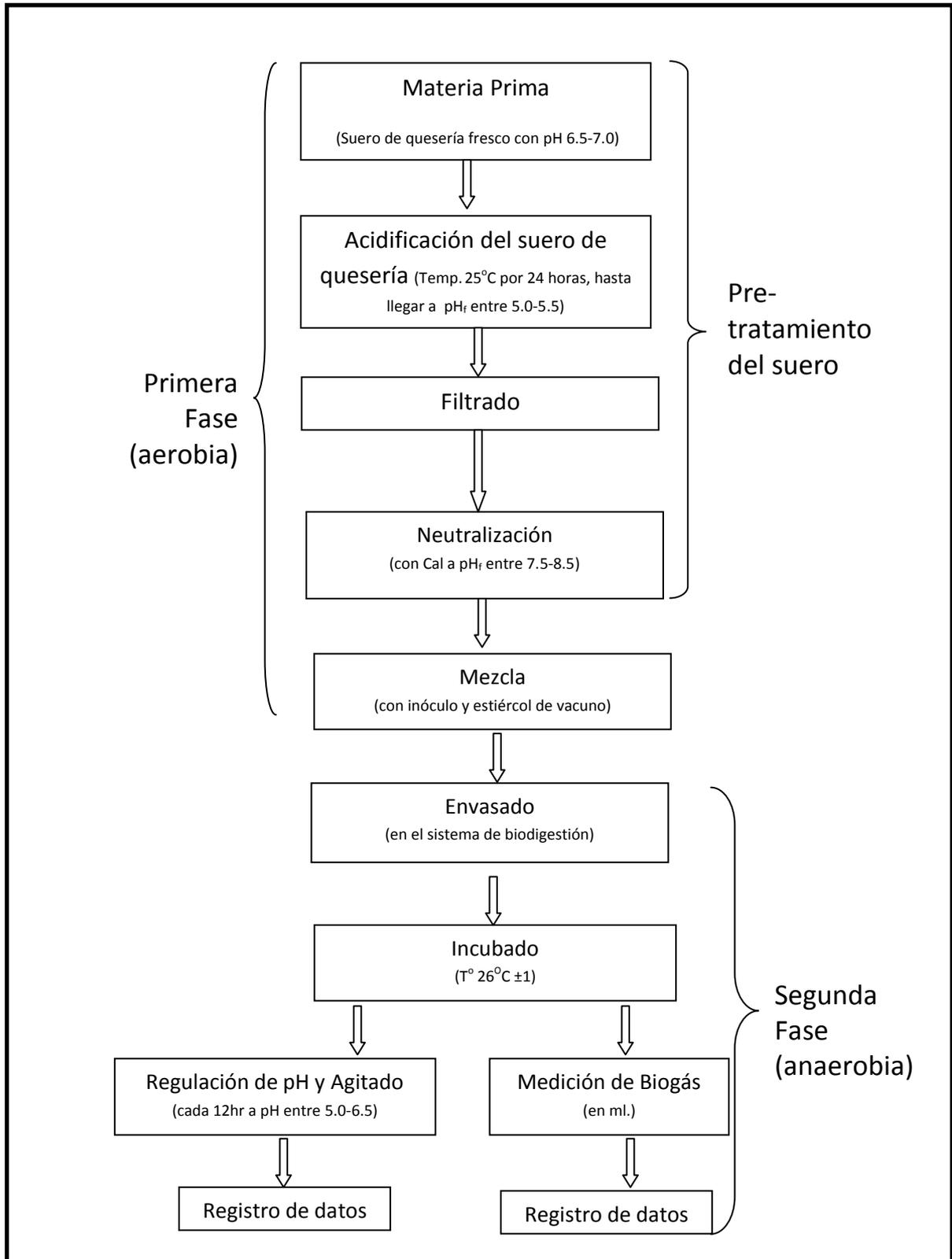
Ghaly (1996), también obtuvo en pruebas similares con suero de quesería, un descenso de pH hasta 3.3 a las 24 horas, a una temperatura 35 °C, valor que se mantuvo constante a lo largo del proceso de biodigestión que fue de 20 días. Igualmente Saddoud *et al.* (2006), en pruebas similares con suero de quesería, a una temperatura de 37 °C en un tiempo de retención de 24 horas determinaron un descenso de pH acompañado de un incremento en la concentración de ácidos grasos volátiles, donde el ácido acético (a un 70%) y propiónico (a un 22%) fueron los principales productos generados.

Por lo ya expuesto se procedió a trabajar a 26 °C (± 1) en los experimentos posteriores, con el fin de mantener un pH lo más establemente posible a ser regulada manualmente cada 12 horas.

No obstante cabe mencionar que al reducirse la temperatura de biodigestión también se reduciría la producción de biogás. Este sustento se basa en el hecho que ha una menor temperatura de biodigestión, existe un menor crecimiento de microorganismos metanogénicos. Por ejemplo Van Lier *et al.* (1993), indicaron que al trabajar en procesos de biodigestion a 26°C se generó una tasa de crecimiento de microorganismos metanogénicos de 18%, mientras que Ghaly (1996) al haber trabajado a una temperatura de 35 °C, generó un tasa de crecimiento de metanogénicos del 30%, y por ende una mayor producción de metano.

De los análisis realizados en los dos apartados anteriores, para el pre tratamiento del suero de quesería, se concluyó en el siguiente Diagrama de Flujo.

Figura 16: Diagrama de flujo para biodigestión del suero de quesería con o sin estiércol de vacuno.



Nota:

En ensayos cometidos experimentalmente, se observó que la primera neutralización con cal sobre el suero de quesería en un proceso de biodigestión, debe estar siempre en el rango entre 7.5 a 8.5, debido a que en pruebas realizadas (no mostradas en el presente trabajo), indicaron que si se realiza una primera neutralización por debajo de 7.5, el suero empezará a acidificarse rápidamente, teniendo que regularse antes de las 12 horas. Mientras que si se regula el pH por encima de 8.5, el biol del suero se desestabiliza, llegando a producir colores y olores no característicos y desagradables con ausencia de biogás.

Por otra parte el rango de pH entre 7.2 a 8.5, beneficia al crecimiento de bacterias *nitrobacter* (Marti, 2006), que favorece la producción de nitrato.

4.2 Segunda etapa: Producción de biogás con mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería.

4.2.1 Determinación de la proporción óptima entre estiércol de vacuno y suero de quesería para la producción de biogás.

A continuación en el Cuadro 18 se presenta el manejo del pH de las muestras: estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7, suero de quesería y estiércol/agua proporción 1:3, las dos últimas muestras utilizadas como patrones de comparación.

Cuadro 18. Manejo del pH de las mezclas de suero de quesería con estiércol de vacuno en procesos de biodigestión.

DÍA	HORA	SUERO DE QUESERÍA				MEZCLAS DE SUERO DE QUESERÍA CON ESTIÉRCOL DE VACUNO												ESTIÉRCOL/AGUA proporción 1:3			
		pH inicial	Sol. Regula da	pH Regula do	pH final	ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7				ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:5				ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:3				pH inicial	Sol. Regula da	pH Regula do	pH final
						pH inicial	Sol. Regula da	pH Regula do	pH final	pH inicial	Sol. Regula da	pH Regula do	pH final	pH inicial	Sol. Regula da	pH Regula do	pH final				
1	0	7.00	NO		7.00	7.56	NO		7.56	7.46	NO		7.46	7.23	NO		7.23	7.97	NO		7.97
	12	6.45	NO		6.45	6.30	NO		6.30	6.4	NO		6.40	6.50	NO		6.50	7.22	NO		7.22
	24	5.82	NO		5.82	5.2	NO		5.20	5.08	NO		5.08	4.98	NO		4.98	8.00	NO		8.00
2	36	5.52	NO		5.52	4.80	SI	5.54	5.54	4.69	SI	5.45	5.45	4.78	SI	5.21	5.21	7.52	NO		7.52
	48	5.38	SI	7.70	7.70	4.91	SI	4.92	4.92	4.80	SI	4.95	4.95	4.91	SI	5.01	5.01	7.40	NO		7.40
	60	5.40	SI	6.99	6.99	4.95	SI	5.12	5.12	4.71	SI	5.71	5.71	4.81	SI	4.99	4.99	7.13	NO		7.13
4	72	5.16	SI	5.76	5.76	4.86	SI	4.90	4.90	4.70	SI	4.86	4.86	4.80	SI	4.91	4.91	7.36	NO		7.36
	84	5.02	SI	5.48	5.48	4.81	SI	4.95	4.95	4.82	SI	4.81	4.81	4.88	SI	4.88	4.88	6.93	NO		6.93
5	96	4.92	SI	5.62	5.62	5.01	SI	5.15	5.15	4.91	SI	5.16	5.16	4.97	SI	5.13	5.13	6.63	NO		6.63
	108	5.02	SI	5.93	5.93	5.42	SI	5.35	5.35	4.98	SI	5.24	5.24	5.34	SI	5.26	5.26	7.11	NO		7.11
	120	4.92	SI	5.37	5.37	5.02	SI	5.63	5.63	4.90	SI	6.38	6.38	4.96	SI	5.80	5.80	7.10	NO		7.10
6	132	4.85	SI	5.16	5.16	5.16	SI	5.36	5.36	5.09	SI	6.68	6.68	5.12	SI	7.38	7.38	7.22	NO		7.22
7	144	5.16	SI	5.40	5.40	5.11	NO		5.11	5.98	NO		5.98	8.08	NO		8.08	7.52	NO		7.52
	156	5.84	NO		5.84	6.13	NO		6.13	7.05	NO		7.05	7.59	NO		7.59	7.32	NO		7.32
	168	6.49	NO		6.49	6.02	NO		6.02	6.45	NO		6.45	6.80	NO		6.80	7.22	NO		7.22
8	180	6.24	NO		6.24	7.10	NO		7.10	7.20	NO		7.20	7.50	NO		7.50	7.40	NO		7.40
	192	6.32	NO		6.32	7.60	NO		7.60	8.04	NO		8.04	8.12	NO		8.12	7.46	NO		7.46
	204	6.50	NO		6.50	6.51	NO		6.51	7.03	NO		7.03	6.93	NO		6.93	7.45	NO		7.45
	216	6.95	NO		6.57	7.80	NO		7.80	7.44	NO		7.44	7.60	NO		7.60	7.42	NO		7.42
10	228	6.95	NO		6.57	7.55	NO		7.55	7.46	NO		7.46	8.23	NO		8.23	7.30	NO		7.30
	240	6.95	NO		6.80	6.94	NO		6.94	7.36	NO		7.36	7.05	NO		7.05	7.30	NO		7.30
	252	6.95	NO		6.82	6.96	NO		6.96	6.9	NO		6.90	6.85	NO		6.85	7.28	NO		7.28
12	264	6.95	NO		6.95	6.69	NO		6.69	6.72	NO		6.72	6.80	NO		6.80	7.26	NO		7.26
	276	6.95	NO		6.95	6.69	NO		6.69	6.72	NO		6.72	6.80	NO		6.80	7.25	NO		7.25
13	288	6.95	NO		6.86	6.70	NO		6.70	6.78	NO		6.78	6.82	NO		6.82	7.24	NO		7.24
	300	6.95	NO		6.84	6.82	NO		6.82	6.78	NO		6.78	6.85	NO		6.85	7.19	NO		7.19
	312	6.95	NO		6.90	6.88	NO		6.88	6.85	NO		6.85	6.68	NO		6.68	7.18	NO		7.18
14	324	6.95	NO		6.90	7.06	NO		7.06	6.88	NO		6.88	6.76	NO		6.76	7.2	NO		7.2
	336	6.95	NO		6.98	7.00	NO		7.00	7.01	NO		7.01	6.85	NO		6.85	7.14	NO		7.14
15	348	6.95	NO		6.98	7.12	NO		7.12	7.02	NO		7.02	6.88	NO		6.88	7.14	NO		7.14

A fin de expresar gráficamente lo determinado en el Cuadro 18 se presenta continuación las Figuras 16, 17 18 y 19 que muestran el comportamiento del pH en las muestras: estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5,1:7 y suero de quesería, respectivamente.

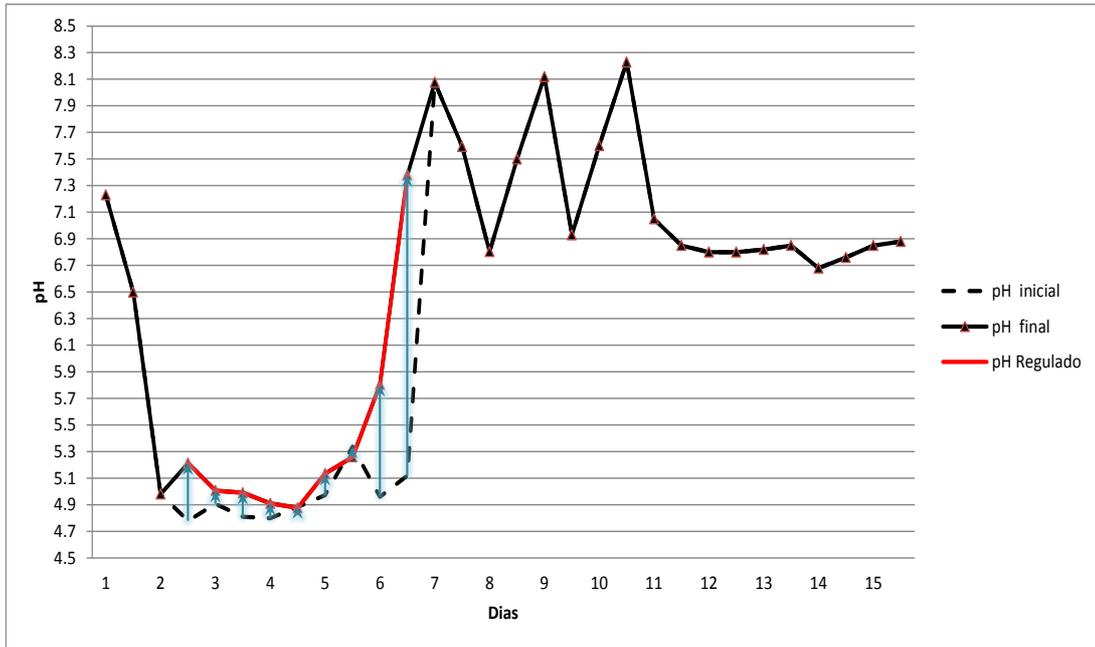


Figura 17. Comportamiento del pH en el biol estiércol/suero proporción 1:3.

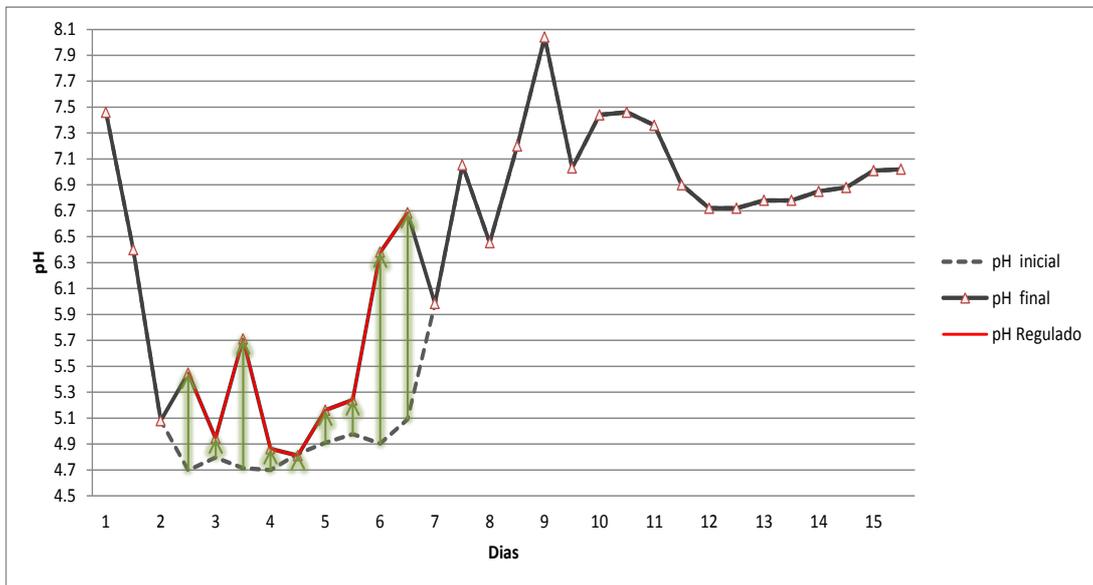


Figura 18. Comportamiento del pH en el biol estiércol/suero proporción 1:5.

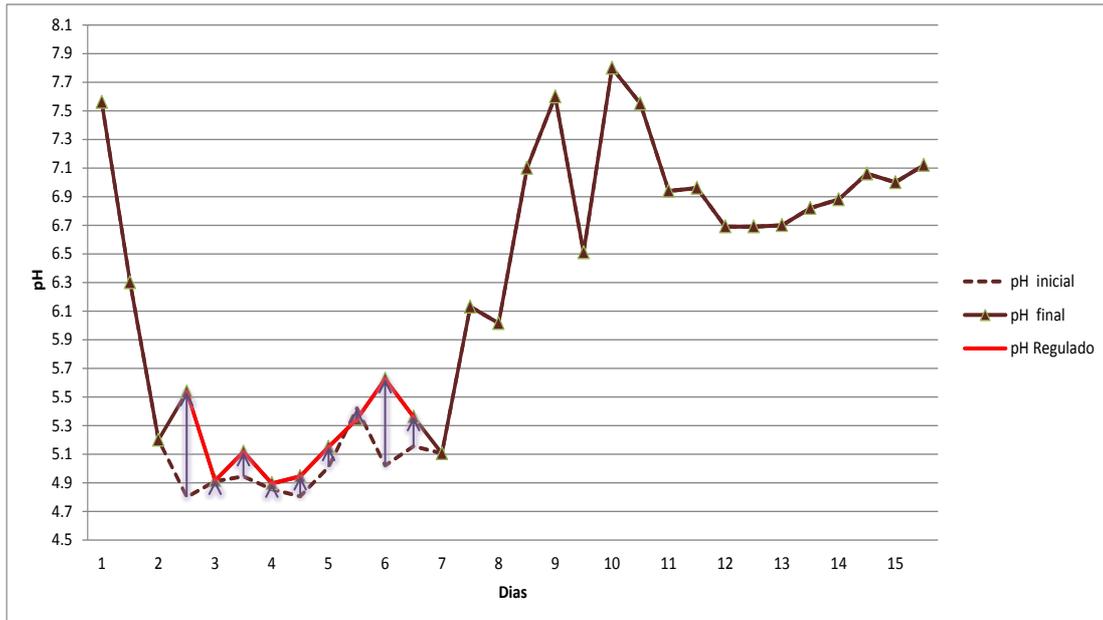


Figura 19. Comportamiento del pH en el biol estiércol/suero proporción 1:7.

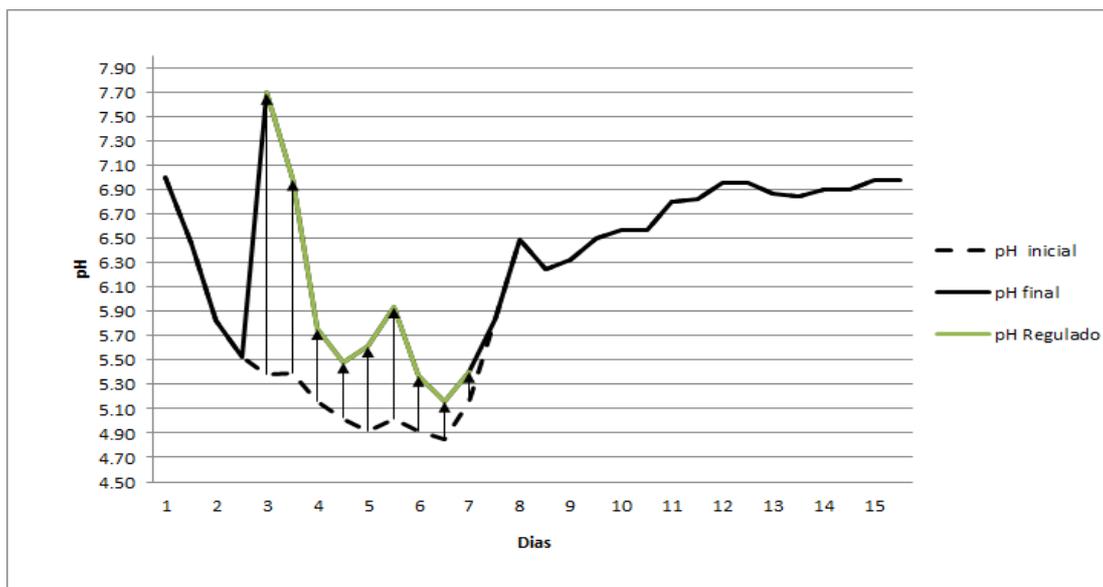


Figura 20. Comportamiento del pH en biol de suero de quesería.

Para que un proceso de biodigestión se desarrolle satisfactoriamente se requiere que el pH este en torno a la neutralidad, presentado problemas si el pH baja de 6 o sube por encima de 8.3 (Lay *et al.*, 1997), en el presente trabajo de investigación se reguló el pH entre 5.0-6.5 cada 12 horas mientras lo requirió el sistema, ya que después de una semana el pH fue elevándose por si solo hasta llegar a un valor promedio de 6.85 en todas las muestras.

El comportamiento del pH del biol de suero de quesería de la Figura 20, indicó un pH mínimo de 5.3 y máximo de 7.70, después de su regulación por 15 días. Saddoud *et al.*, (2006), en pruebas similares (sin adición de estiércol vacuno), se obtuvo un pH mínimo de 6.0 y un máximo de 7.5 después de su regulación por 50 días; no obstante el investigador no menciona cada que tiempo tuvo que regular el pH de las muestras y si hubo la necesidad de estar regulando el pH hasta el final del proceso de biodigestión.

De las Figuras 17, 18, 19 y 20 se pudo observar que en todas las muestras se generó una recaída de pH fuera del rango establecido, entre el segundo y séptimo día de biodigestión.

Después de la segunda semana no se requirió regular más el pH, debido a que los bioles de las muestras presentaron un pH que se fue elevando hasta volverse más estable y moderadamente neutro a un valor promedio de 7.1. A partir de la tercera semana el valor de pH decreció un poco a un valor promedio de 6.85.

Esta elevación de pH podría deberse a la acumulación de nitrógeno amoniacal que se habría venido generando dentro del sistema, ya que la generación de nitrógeno amoniacal produce en incremento del pH (Van Lier, 1995).

La proporción 1:7, de la mezcla entre estiércol de vacuno y suero de quesería mostró menores fluctuaciones de variación de pH durante el proceso de biodigestión.

A continuación se presenta en el Cuadro 19 la producción de biogás de las cinco muestras: estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7, suero de quesería y estiércol/agua proporción 1:3, las dos últimas muestras usadas como patrones de comparación.

Cuadro 19. Producción de biogás de las mezclas experimentales.

Día	SUERO DE QUESERÍA		MEZCLAS DE SUERO DE QUESERÍA CON ESTIÉRCOL DE VACUNO						ESTIÉRCOL/AGUA proporción 1:3	
			ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:3		ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:5		ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7			
	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)
1	nd	nd	1,100	1,100	1,100	1,100	1,500	1,500	nd	nd
2	nd	nd	nd	1,100	nd	1,100	nd	1,500	nd	nd
3	1,250	1,250	nd	1,100	500	1,600	nd	1,500	nd	nd
4	1,450	2,700	700	1,800	350	1,950	500	2,000	nd	nd
5	1,450	4,150	nd	1,800	500	2,450	nd	2,000	120	120
6	1,500	5,650	700	2,500	320	2,770	500	2,500	250	370
7	nd	5,650	1,220	3,720	1,580	4,350	3,070	5,570	nd	370
8	nd	5,650	890	4,610	800	5,150	2,600	8,170	nd	370
9	nd	5,650	390	5,000	880	6,030	250	8,420	nd	370
10	nd	5,650	610	5,610	220	6,250	130	8,550	nd	370
11	nd	5,650	nd	5,610	310	6,560	380	8,930	nd	370
12	nd	5,650	580	6,190	nd	6,560	nd	8,930	nd	370
13	nd	5,650	nd	6,190	nd	6,560	nd	8,930	nd	370
14	nd	5,650	nd	6,190	nd	6,560	nd	8,930	nd	370
15	nd	5,650	nd	6,190	nd	6,560	nd	8,930	nd	370
Total de biogás (ml.) en 15 días.		5,650.0	6,190.0		6,560.0		8,930.0		370.0	
% de Biogás a los 15 días		502.22	550.22		583.11		793.78		32.89	

Condiciones de trabajo:

Mezcla (gr.):	1,035	Agitación:	cada 12 horas
Inóculo (al 8 %, en gr.):	90	Aditivo para la regulación del pH:	Ca(OH) ₂
Peso total por unid. exp. (gr.):	1,125	Rango de regulación del pH:	5.0 - 6.5
Temperatura prom. °C:	26 (±1)	No detectado:	nd

Del Cuadro 19, se puede observar que la mezcla estiércol/suero proporción 1:7, presentó una mayor producción de biogás a partir del sexto al noveno día de biodigestión; mientras que las mezclas de estiércol/suero proporciones 1:3 y 1:5 tuvieron una producción diaria de biogás con tendencia parecida y moderadamente menor que la proporción 1:7.

En relación al análisis estadístico del Cuadro 19 se puede observar que el contenido de biogás de las unidades experimentales guardó homogeneidad a lo largo del proceso de biodigestión, con un C.V. (%) de 4, 2, 4, 1 y 4 respectivamente, en las

muestras de suero de quesería, mezclas de estiércol/suero proporción 1:3, 1:5 1:7 y la mezcla estiércol/agua prop. 1:3.

Además en ninguna de las mezclas analizadas del Cuadro 19 la producción de biogás supera las dos semanas de biodigestión (ver las Figuras 17, 18, 19 y 20).

La mezcla de estiércol/agua a los 15 días de tratamiento, no empieza una producción considerable de biogás a 26 °C (± 1), (ver Cuadro 19). Este resultado concuerda con el obtenido según Saico (2003), quien obtuvo biogás en una muestra similar y a la misma proporción, recién a partir de los 20 días de biodigestión, con una temperatura entre 20 y 34 °C.

A continuación se muestra en la Figura 20 la producción diaria de biogás de las cinco muestras: estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7, suero de quesería y estiércol/agua proporción 1:3.

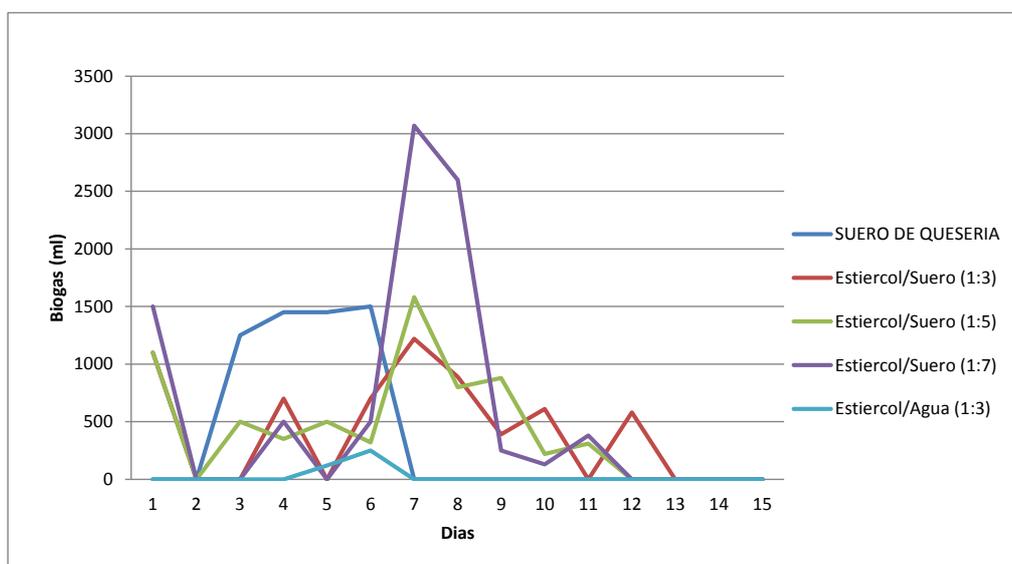


Figura 21. Producción diaria de Biogás a diferentes proporciones entre estiércol de vacuno y suero de quesería.

De la Figura 21 se puede observar que la mezcla Estiércol/suero (1:7), resulta siendo la mezcla con menor carga orgánica, se sobrepone a las demás muestras en la producción de biogás, especialmente entre el sexto y noveno día de biodigestión;

resultado que podría ampararse en lo manifestado por Ahring *et al.* (1995), quienes mencionan que la inestabilidad en los reactores anaeróbicos aumenta a medida que se incrementa la carga orgánica en el sistema, especialmente en el caso de “sobrecargas” puntuales, que conllevan a la acumulación de ácidos grasos volátiles, y por ende la inhibición del biogás.

A continuación, en la Figura 22 se muestra la producción acumulada de biogás de las cinco muestras: estiércol de vacuno y suero de quesería en las proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7, suero de quesería y estiércol/agua proporción 1:3.

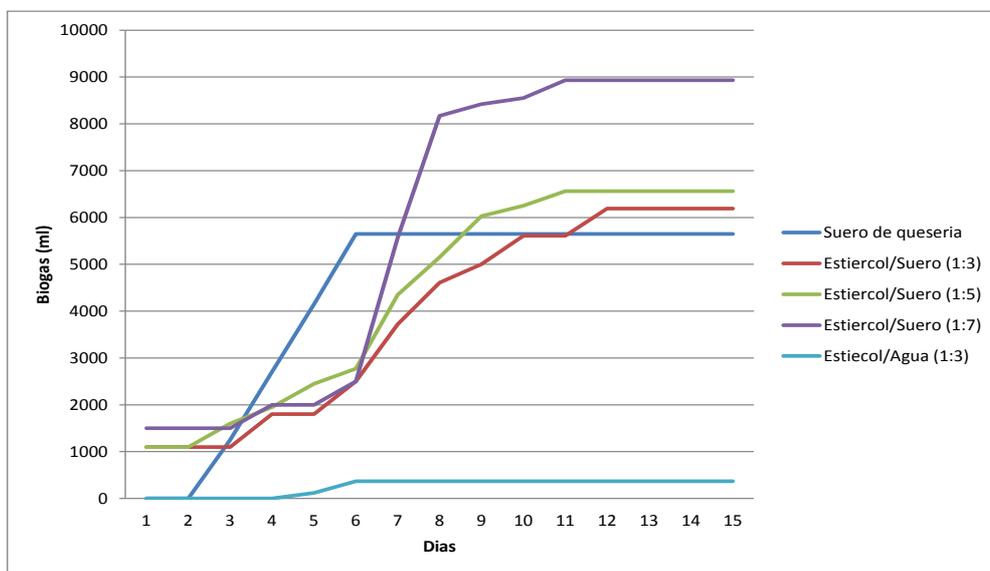


Figura 22. Producción acumulada de biogás a diferentes proporciones entre Estiércol Vacuno y Suero de Quesería.

Debido a los resultados obtenidos del Cuadro 19, reflejados en las Figuras 21 y 22, se determinó que la mezcla óptima para la producción de biogás es de Estiércol/suero en la proporción 1:7.

4.2.2 Producción de biogás de la mezcla óptima, en un tiempo de retención de 60 días

De las mezclas estiércol/suero se tomó la proporción 1:7 como la mezcla óptima, posteriormente se evaluó su producción de biogás utilizando al suero de quesería, como parámetro de comparación, con una biodigestión de 60 días.

A continuación se presenta en el Cuadro 20, el comportamiento del pH de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7 y del suero de quesería.

Cuadro 20. Manejo del pH de las muestras experimentales.

DIA	HORA	MUESTRAS							
		SUERO DE QUESERIA				ESTIERCOL/SUERO proporción 1:7			
		pH inicial	Sol. Regulada	pH Regulado	pH final	pH inicial	Sol. Regulada	pH Regulado	pH final
	0	6.65	NO		6.65	7.03	NO		7.03
	12	7.40	NO		7.40	5.65	NO		5.65
1	24	5.47	SI		6.45	5.05	SI	6.58	6.58
	36	5.03	SI	5.32	5.32	5.68	SI	6.38	6.38
2	48	4.99	SI	5.42	5.42	5.02	SI	5.09	5.09
	60	4.97	SI	5.12	5.12	4.59	SI	4.97	4.97
3	72	4.99	SI	5.62	5.62	4.96	SI	5.15	5.15
	84	4.87	SI	5.15	5.15	5.39	SI	5.53	5.53
4	96	5.45	SI	5.39	5.39	6.42	SI	7.50	7.50
5	108	5.43	NO		5.43	6.88	NO		6.88
	120	6.07	NO		6.07	6.90	NO		6.90
6	132	6.30	NO		6.30	7.03	NO		7.03
	144	6.65	NO		6.65	7.08	NO		7.08
7	156	6.69	NO		6.69	7.01	NO		7.01
	168	6.72	NO		6.72	6.94	NO		6.94
8	180	6.73	NO		6.73	7.15	NO		7.15
	192	6.77	NO		6.77	7.08	NO		7.08
9	204	6.78	NO		6.78	7.12	NO		7.12
	216	6.78	NO		6.78	7.10	NO		7.10
10	228	6.79	NO		6.79	7.11	NO		7.11
	240	6.79	NO		6.79	6.73	NO		6.73
11	252	6.95	NO		6.95	6.58	NO		6.58
	264	6.98	NO		6.98	6.58	NO		6.58
12	276	6.99	NO		6.99	6.55	NO		6.55
	288	6.99	NO		6.99	6.52	NO		6.52
13	300	7.00	NO		7.00	6.41	NO		6.41
	312	6.98	NO		6.98	6.38	NO		6.38
14	324	6.95	NO		6.95	6.34	SI	7.20	7.20
	336	6.89	NO		6.89	6.90	NO		6.90
15	348	6.86	NO		6.86	6.48	SI	7.44	7.44
	360	6.85	NO		6.85	6.49	NO		6.49
16	372	6.65	NO		6.65	6.53	NO		6.53
	384	6.86	NO		6.86	6.54	NO		6.54
17	396	6.84	NO		6.84	6.55	NO		6.55
	408	6.84	NO		6.84	6.65	NO		6.65
18	420	6.82	NO		6.82	6.68	NO		6.68
	432	6.89	NO		6.89	6.74	NO		6.74
19	444	6.78	NO		6.78	6.79	NO		6.79
	456	6.84	NO		6.84	6.85	NO		6.85
20	468	6.87	NO		6.87	6.90	NO		6.90
	480	6.88	NO		6.88	6.85	NO		6.85
21	492	6.89	NO		6.89	6.84	NO		6.84
	504	6.89	NO		6.89	6.64	NO		6.64
22	516	6.77	NO		6.77	6.82	NO		6.82
	528	6.74	NO		6.74	6.81	NO		6.81
23	540	6.72	NO		6.72	6.83	NO		6.83
	552	6.73	NO		6.73	6.80	NO		6.80
24	564	6.73	NO		6.73	6.79	NO		6.79
	576	6.74	NO		6.74	6.78	NO		6.78
25	588	6.71	NO		6.71	6.78	NO		6.78
	600	6.72	NO		6.72	6.75	NO		6.75
26	612	6.70	NO		6.70	6.73	NO		6.73
	624	6.67	NO		6.67	6.71	NO		6.71
27	636	6.50	NO		6.50	6.71	NO		6.71
	648	6.48	NO		6.48	6.68	NO		6.68
28	660	6.40	SI	6.74	6.74	6.60	NO		6.60
	672	6.50	NO		6.50	6.55	NO		6.55
29	684	6.64	NO		6.64	6.55	NO		6.55
	696	6.72	NO		6.72	6.54	NO		6.54
30	708	6.78	NO		6.78	6.57	NO		6.57
	720	6.79	NO		6.79	6.58	NO		6.58
31	732	6.81	NO		6.81	6.65	NO		6.65
	744	6.82	NO		6.82	6.59	NO		6.59
32	756	6.70	NO		6.70	6.57	NO		6.57
	768	6.71	NO		6.71	6.58	NO		6.58
33	780	6.70	NO		6.70	6.56	NO		6.56
	792	6.65	NO		6.65	6.56	NO		6.56
34	804	6.64	NO		6.64	6.55	NO		6.55
	816	6.60	NO		6.60	6.54	NO		6.54
35	828	6.61	NO		6.61	6.54	NO		6.54
	840	6.61	NO		6.61	6.54	NO		6.54
36	852	6.62	NO		6.62	6.53	NO		6.53
	864	6.62	NO		6.62	6.52	NO		6.52
37	876	6.63	NO		6.63	6.51	SI	7.78	7.78
	888	6.63	NO		6.63	7.05	NO		7.05
38	900	6.64	NO		6.64	7.12	NO		7.12
	912	6.63	NO		6.63	7.05	NO		7.05
39	924	6.62	NO		6.62	7.02	NO		7.02
	936	6.62	NO		6.62	7.01	NO		7.01
40	948	6.60	NO		6.60	7.01	NO		7.01
	960	6.61	NO		6.61	6.99	NO		6.99

Van...

Vienen...

DIA	HORA	MUESTRAS							
		SUERO DE QUESERIA				ESTIERCOL/SUERO proporcion 1:7			
		pH inicial	Sol. Regulada	pH Regulado	pH final	pH inicial	Sol. Regulada	pH Regulado	pH final
41	12	6.60	NO		6.60	6.80	NO		6.80
	24	6.59	NO		6.59	6.98	NO		6.98
42	36	6.59	NO		6.59	6.96	NO		6.96
	48	6.58	NO		6.58	6.95	NO		6.95
43	60	6.60	NO		6.60	6.95	NO		6.95
	72	6.60	NO		6.60	6.94	NO		6.94
44	84	6.61	NO		6.61	6.91	NO		6.91
	96	6.63	NO		6.63	6.91	NO		6.91
45	108	6.64	NO		6.64	6.93	NO		6.93
	120	6.65	NO		6.65	6.90	NO		6.90
46	132	6.67	NO		6.67	6.90	NO		6.90
	144	6.67	NO		6.67	6.89	NO		6.89
47	156	6.65	NO		6.65	6.88	NO		6.88
	168	6.65	NO		6.65	6.89	NO		6.89
48	180	6.63	NO		6.63	6.89	NO		6.89
	192	6.62	NO		6.62	6.85	NO		6.85
49	204	6.60	NO		6.60	6.84	NO		6.84
	216	6.58	NO		6.58	6.86	NO		6.86
50	228	6.85	NO		6.85	6.86	NO		6.86
	240	6.59	NO		6.59	6.86	NO		6.86
51	252	6.59	NO		6.59	6.85	NO		6.85
	264	6.59	NO		6.59	6.85	NO		6.85
52	276	6.58	NO		6.58	6.85	NO		6.85
	288	6.58	NO		6.58	6.85	NO		6.85
53	300	6.59	NO		6.59	6.85	NO		6.85
	312	6.59	NO		6.59	6.85	NO		6.85
54	324	6.60	NO		6.60	6.84	NO		6.84
	336	6.54	NO		6.54	6.72	NO		6.72
55	348	6.57	NO		6.57	6.67	NO		6.67
	360	6.57	NO		6.57	6.67	NO		6.67
56	372	6.54	NO		6.54	6.68	NO		6.68
	384	6.54	NO		6.54	6.68	NO		6.68
57	396	6.55	NO		6.55	6.68	NO		6.68
	408	6.56	NO		6.56	6.65	NO		6.65
58	420	6.55	NO		6.55	6.67	NO		6.67
	432	6.55	NO		6.55	6.64	NO		6.64
59	444	6.54	NO		6.54	6.64	NO		6.64
	456	6.54	NO		6.54	6.64	NO		6.64
60	468	6.55	NO		6.55	6.63	NO		6.63
	480	6.55	NO		6.55	6.63	NO		6.63

A continuación en las Figuras 23 y 24, se expresa graficamente los resultados obtenidos en el Cuadro 20, donde se observa el comportamiento del pH del suero de quesería y de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7 respectivamente, en un periodo de digestión de 60 días.

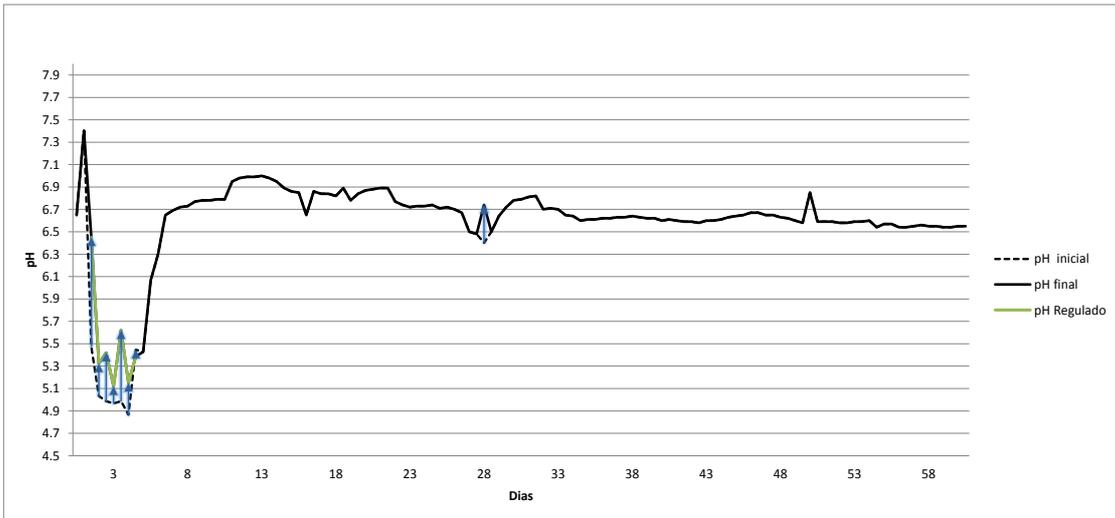


Figura 23. Comportamiento del pH del biol suero de quesería.

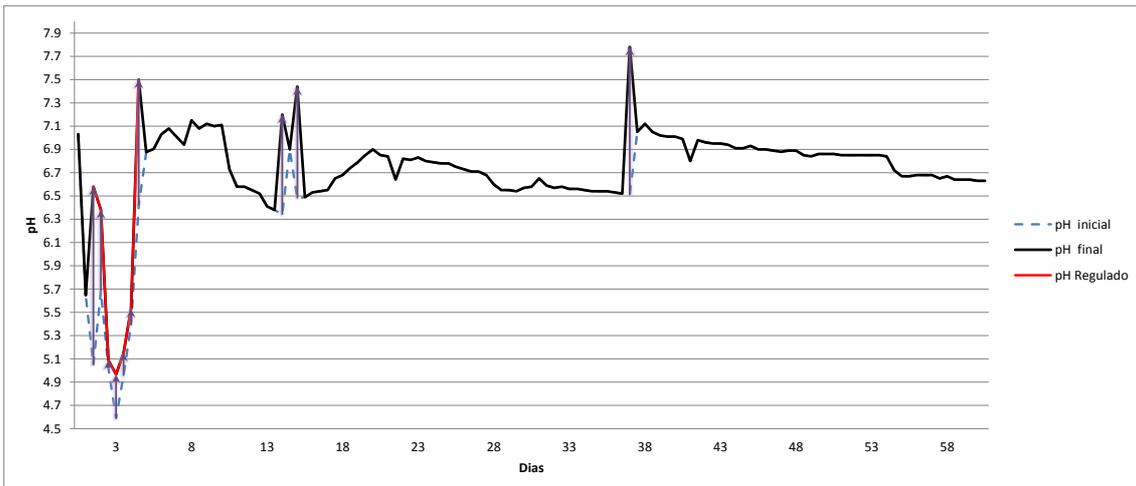


Figura 24. Comportamiento del pH del biol de Estiércol/suero en la proporción 1:7.

De el gráfico de la Figura 23, se puede destacar que a lo largo de los 60 días de biodigestión, el pH del suero de quesería se mantuvo entre 6.3 a 7.1, mientras que en el gráfico de la Figura 24, la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7, mantuvo un pH entre 6.3 a 7.5.

Luego de 8 días de biodigestión no se requirió regular constantemente el pH, el cual se mantuvo generalmente entre 6.5 y 6.9 en ambas muestras, donde el suero de quesería mostró una mejor estabilidad del pH, con una sola una regulación adicional el día 28, mientras que la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7, reguló su pH por tres veces más, los días 14, 15 y 37 (ver Cuadro 20).

Rittmann y McCarty (2001), mencionan que los microorganismos acidogénicos pueden trabajar a pH mayores de 5.0, en cambio los metanogénicos requieren un pH óptimo entre 6.6-7.6, pudiendo soportar rangos entre 6.4-7.8, donde por debajo de 6.2 de pH se inhibiría su crecimiento. En la primera semana de biodigestión, en todas las muestras analizadas de suero de quesería con o sin estiércol de vacuno, se obtuvo un valor promedio de pH de 5.5, valor que coincide dentro del rango óptimo para el crecimiento de lactobacilos que está a un pH entre 5.5 y 6.2 (Samaniego y Sosa del Castillo, 1998). Presentando luego en la segunda semana, un incremento de pH a un valor promedio de 7.1, para después obtener un ligero descenso del mismo a 6.85, en las semanas posteriores al proceso de biodigestión (ver Cuadro 24). Estos valores obtenidos a partir de la segunda semana de biodigestión habrían provocado un descenso del crecimiento de lactobacilos, los cuales son afectados en medios neutros o ligeramente alcalinos (Samaniego y Sosa del Castillo, 1998).

Por otra parte, los valores de pH promedio de 7.1 obtenidos en la segunda semana de biodigestión, y los obtenidos en las posteriores semanas de 6.85, en las muestras de suero de quesería con o sin estiércol de vacuno. Coinciden dentro del rango óptimo para el crecimiento de bacterias acetogénicas, que según Joblin (1999) estarían a un pH entre 6.8 y 7.2.

A continuación se muestra en el Cuadro 21, la producción de biogás de las muestras de suero de quesería y de la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7.

Cuadro 21. Producción de biogás de las muestras experimentales

Día	SUERO DE QUESERÍA		ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7	
	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)	Prod. Diaria (ml)	Prod Acumulada (ml)
1	1,135	1,135	2,100	2,100
2	1,340	2,475	1,277	3,377
3	1,085	3,560	1,167	4,543
4	800	4,360	817	5,360
5	1,250	5,610	4,403	9,763
6	125	5,735	33	9,797
7	nd	5,735	nd	9,797
8	nd	5,735	nd	9,797
9	nd	5,735	nd	9,797
10	nd	5,735	nd	9,797
30	nd	5,735	nd	9,797
60	nd	5,735	nd	9,797
Total de biogás (ml.) en 15 días.		5,735		9,797
% de Biogás a los 15 días		510		871

Prod. de biogás con 3 repeticiones	SUERO DE QUESERÍA	ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7
Desviación estándar prom.	15	10.8
Coeficiente de variación prom.	2.08	1.3

Condiciones de trabajo:

Mezcla (gr.):	1035	Agitación:	cada 12 horas
Inóculo (al 8 %, en gr.):	90	Aditivo para la regulación del pH:	Ca(OH) ₂
Peso total por unid. exp. (gr.):	1125	Rango de regulación del pH	5.0-6.5
Temperatura prom. °C:	26 (±1)	No detectado:	nd

A continuación se presenta en la Figura 25, la producción diaria de biogás de las muestras de suero de quesería y de la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7, cuyos datos fueron extraídos del Cuadro 21.

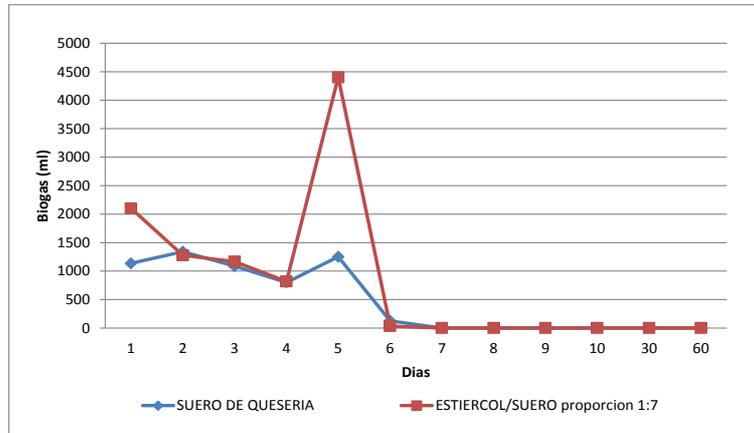


Figura 25. Producción diaria de Biogás a partir de: estiércol de vacuno con suero de quesería (proporción 1:7) y suero de quesería.

A continuación se presenta en la Figura 26, la producción acumulada de biogás de las muestras de suero de quesería y de la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7, cuyos datos fueron extraídos del Cuadro 21.

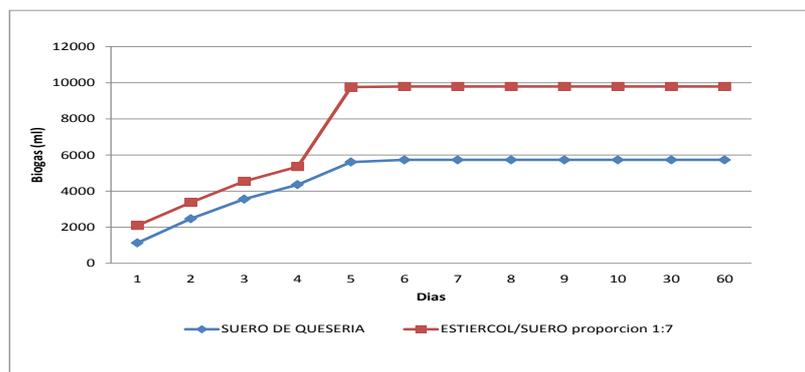


Figura 26. Producción acumulada de biogás de: Estiércol Vacuno con suero de quesería (proporción 1:7) y Suero de Quesería.

Del Cuadro 21, se pudo observar que a los 60 días de biodigestión se generó 510% de biogás, en el suero de quesería, valor que fue superado por la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7, se produjo 871 % de biogás.

Nótese que ninguna de las dos muestras presento una mayor producción de biogás después de la primera semana, hecho que no coincide con lo obtenido por otros investigadores que también trabajaron en la biodigestión de suero de quesería como por ejemplo Ghaly (1996), que obtuvo una generación de biogás constante a lo largo de los 20 días de digestión, y Saddoud *et al.* (2006), que obtuvieron en 50 días de biodigestión una producción constante de biogás, con un empinamiento en la producción de biogás a partir del día 25, donde se generó un volumen de biogás 10 veces mayor que su volumen inicial.

No obstante, estos investigadores realizaron su análisis experimental con biodigestores de carga continua y regulación del pH con Na(OH), donde Ghaly (1996) reguló el pH entre 5.7 - 6.0 y Saddoud *et al.* (2006) regularon el pH entre 7.9 - 8.5.

Por lo tanto, los trabajos experimentales de los investigadores arriba mencionados y la presente investigación mostraron discrepancias en la generación de biogás, pudiendo haber sido está afectada por el modo de carga (ya sea continua o fija), variación de la temperatura y aditivo usado para la regulación de los pH; utilizados distintamente.

4.2.3 Caracterización de biogás

Se caracterizó el biogás generado de la mezcla entre estiércol/suero, en la proporción 1:7, considerada como la mezcla óptima, en un tiempo de retención de 60 días, utilizando al suero de quesería como parámetro de comparación. Donde se consideró lo siguiente:

- a. Composición del biogás.
- b. Poder calorífico del biogás.

a. Composición del biogás.

a.1 Composición del gas del suero de quesería

A continuación se presenta en el Cuadro 22, la composición del gas del suero de quesería, al cuarto y sexto día de biodigestión.

Cuadro 22. Composición del gas del suero de quesería.

Componente	Al cuarto día de biodigestión			Al sexto día de biodigestión		
	Muestra		Promedio	Muestra		Promedio
	1	2		1	2	
N ₂ (%)	73.53	73.72	73.63	99.85	99.87	99.86
CH ₄ (%)	0.01	0.01	0.01	0.07	0.06	0.06
CO ₂ (%)	26.45	26.27	26.36	0.08	0.07	0.08

De los resultados presentes en el Cuadro 22, se puede observar que el gas de suero de quesería tuvo un incremento de nitrógeno de 73.63 % al cuarto día de biodigestión, y de 99.86 % el sexto día de biodigestión, siendo el nitrógeno, el mayor componente generado durante los 60 días de biodigestión, ya que después del sexto día, no se volvió a generar más gas (ver el Cuadro 21).

También se pudo observar en el Cuadro 22, que las concentraciones de metano en el biogás del suero de quesería, fueron de 0.01 % al cuarto día de biodigestión, y de 0.06 % el sexto día de biodigestión. Mientras que Saddoud *et al.* (2006), obtuvieron una producción de biogás con un contenido de metano del 70 % a los 50 días de biodigestión.

Por otra parte, los resultados obtenidos del presente trabajo, coinciden con los presentados por la empresa Lacteos Xelac, ubicada en San Cristobal, Guatemala; que obtuvo 200 litros de biogás a partir de 100 litros de suero, en dos meses de digestión, el cual al ser sometido a llama no llegó a combustionar (Marisse, 2012), por lo que se deduce que el biogás generado habría presentado una baja concentración de metano.

En relación a la producción de metano Ghaly (1996), menciona que su incremento en procesos de biodigestión, dependerá del tipo de sustrato a utilizar

y el aditivo que se utilice para regular el pH, lo que coincide con Malaspina *et al.*(1996).

Por lo que podríamos indicar en base a estas premisas, que según los resultados obtenidos en el Cuadro 22, que el uso de Cal para regular procesos de biodigestión en suero de quesería podría inhibir la producción de metano.

a.2 Composición del biogás de la mezcla de estiércol/suero (proporción 1:7)

A continuación se presenta en el Cuadro 23, la composición del biogás de la mezcla de estiércol/suero (proporción 1:7), a cuarto y sexto día de biodigestión.

Cuadro 23. Composición de biogás de la mezcla estiércol/suero (1:7).

Componente	Al cuarto día de biodigestión			Al sexto día de biodigestión		
	Muestra		Promedio	Muestra		Promedio
	1	2		1	2	
N ₂ (%)	25.49	25.85	25.67	66.29	66.46	66.38
CH ₄ (%)	nd	nd	nd	27.67	27.67	27.67
CO ₂ (%)	74.51	74.15	74.33	6.03	5.87	5.95

No detectado: nd

De los resultados presentes en el Cuadro 23, se puede observar que el biogás de la mezcla de estiércol/suero (proporción 1:7), tuvo un incremento de nitrógeno de 25.67 % al cuarto día de biodigestión, y de 66.38 % el sexto día de biodigestión, siendo el nitrógeno, el mayor componente generado durante los 60 días de biodigestión, ya que después del sexto día, no se volvió a generar más biogás (ver Figura 23).

Por otro lado también se pudo observar en el Cuadro 23, que las concentraciones de metano en esta mezcla, fueron de 0 % al cuarto día y de 27.67 % el sexto día de biodigestión.

Estos valores de metano pueden ser considerados bajos, no obstante son superiores a los reportados en la biodigestión con suero de quesería, mostrados en el Cuadro 22.

El rango moderadamente ácido de 5.5 de pH que se obtuvo durante la primera semana de biodigestión en el presente trabajo de investigación, favoreció a la generación de ácido acético no ionizado, el cual inhibe la generación de biogás al impedir la degradación del propionato, fenómeno conocido como inhibición de la acetogénesis (Fukuzaki *et al.*, 1990).

En pruebas realizadas de biodigestión con suero de quesería realizadas por Saddoud *et al.* (2006), Se alcanzó una producción de 4420 mg/L de ácido acético y propiónico en un periodo de 50 días, obteniendo la producción más alta de ácido acético a los 15 días, si consideramos que a partir de 4000 mg/L de ácido graso volátil se produce acetogénesis (Campos, 2000), se podría deducir que estas muestras de suero de quesería también tuvieron inhibición por acetogénesis a los 50 días de biodigestión.

Por otro lado la presencia en todos biodigestores, de un olor característico al generado por el ácido sulfhídrico a partir del día 15 que fue intensificándose hasta el día 60, indicarían la presencia de bacterias sulfato reductoras, las cuales compiten con las bacterias metanogénicas por el sustrato disponible; presentando las bacterias sulfo reductoras ventajas termodinámicas y cinéticas en comparación a las bacterias metanogénicas (Hulshoff Pol *et al.*, 1998). Donde a una mayor carga de bacterias sulfato reductoras se propiciará una mayor producción de ácido sulfhídrico en vez de metano en el biogás producido (Marti, 2006).

A continuación se presenta en el siguiente Cuadro, el comportamiento del pH a lo largo del proceso de biodigestión del suero de quesería con o sin estiércol de vacuno, ya que estas muestras no mostraron diferencia de comportamiento en relación a este parámetro (deducido de los cuadros 17,18 19 y 20) y su influencia en el crecimiento de la flora microbiana.

Cuadro 24. Comportamiento del pH del suero de quesería con o sin estiércol de vacuno y su influencia en el crecimiento de la flora microbiana.

Tiempo de biodigestión del suero de quesería con o sin estiércol	Valor promedio de pH obtenido durante la biodigestión	Dentro del rango para el Crecimiento óptimo de:
Primera semana	5.5 a 6.5	Lactobacilos y Bact. metanogénicas (Marty,2006).
Segunda semana	7.0 a 7.10	Bacterias acetogénicas y Bact. metanogénicas (Joblin, 1999; Marty 2006).
Tercera semana	6.80 a 6.90	Bacterias acetogénicas y Bact. metanogénicas (Joblin, 1999; Marty 2006).

De los resultados expuesto en el Cuadro 24 podemos deducir que en todas las muestras en las que se biodigestó suero de quesería con o sin estiércol, se dieron las condiciones para la generación de biogás ya que se propició el crecimiento de bacterias metanogénicas, no obstante también se propició en crecimiento de lactobacilos, los cuales son menos sensibles a cambios en su entorno como por ejemplo a las variaciones en la concentración de amonio (Van Lier, 1995), lo que habría inducido a una menor producción de metano.

b. Poder calorífico del biogás

b.1 Poder calorífico del biol de las muestras: suero de quesería y estiércol/suero (proporción 1:7).

Se entiende por poder calorífico a la energía máxima que se puede liberar de la unión entre un combustible y un carburante, donde el poder calorífico superior es el calor verdaderamente producido, y el poder calorífico inferior es el calor realmente aprovechable (Campos, 2001).

A continuación se presenta en el Cuadro 25, los resultados del poder calórico obtenidos del biogás de suero de quesería y de la mezcla estiércol/suero (1:7), al cuarto y sexto día de biodigestión.

Cuadro 25. Poder calórico del biogás de suero de quesería y de la mezcla estiércol/suero (1:7).

	Biogás de suero de quesería			Biogás de estiércol/suero (1: 7)		
	Poder calórico		Gravedad Específica	Poder calórico		Gravedad Específica
	Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)		Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)	
Al cuarto día de biodigestión	0.005	0.004	1.114	0.00013	0.00011	1.382
Al sexto día de biodigestión	0.0245	0.022	0.967	10.4423	9.401	0.886

De los resultados del Cuadro 25, se puede observar que al sexto día de biodigestión, se obtuvo un mayor poder calórico superior e inferior en ambas muestras, donde el biogás de la mezcla estiércol/suero (1:7), presentó los mayores valores, con un poder calórico superior de 10.4423 MJ/m³ y poder calórico inferior de 9.401 MJ/m³.

Si consideramos que el poder calórico del biogás convencional se encuentra entre 20 a 25 MJ/m³ (Aqua Limpia, 2007) podemos concluir que los poderes calóricos del biogás de suero de quesería y de la mezcla estiércol/suero (1:7) son bajos.

4.2.4 Caracterización del biol

El pH no se considera como una buena variable de control para procesos anaeróbicos, ya que muchos fenómenos tienen influencia sobre el (Marti, 2006). Por ello se han venido considerando otras variables como mejores indicadores, entre ellas tenemos el contenido de ácidos grasos volátiles, presión parcial del hidrógeno o indicadores basados en el número de bacterias o actividad bacteriana (Angelidaki *et al.*, 1997). En aras a estos testimonios se procedió a analizar en el presente trabajo las muestras de biol tal como sigue.

Se caracterizó el biol generado de la mezcla entre estiércol/suero, en las proporciones 1:3, 1:5 y 1:7, utilizando al estiércol/agua proporción 1:3 y al suero de quesería como parámetros de comparación. Donde se consideró lo siguiente:

- a. Contenido de sólidos totales y volátiles del biol.
- b. Contenido de nitrógeno orgánico y amoniacal.
- c. Carga microbiana.
- d. Evaluación de la calidad agronómica

- a. Contenido de sólidos totales y volátiles del biol.

a.1 Contenido de sólidos totales y volátiles del biol de las mezclas estiércol/suero proporción 1:3, 1:5, y 1:7.

En el Cuadro 26, se presenta la cuantificación de los sólidos totales y volátiles en el biol obtenido de las muestras: estiércol/suero proporción 1:3, 1:5, y 1:7, estiércol/suero proporción 1:3 y suero de quesería, al inicio y a los 15 días de biodigestión.

Cuadro 26. Concentración de sólidos totales y volátiles de los bioles a 15 días de biodigestión.

BIOL	Al inicio		A los 15 días	
	S.T.	S.V.	S.T.	S.V.
SUERO DE QUESERÍA (mg/L)	61,133	51,361	35,540	26,670
ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:3 (mg/L)	91,183	78,063	79,887	56,474
ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:5 (mg/L)	59,817	56,054	48,412	29,239
ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7 (mg/L)	62,164	51,954	48,113	27,624
ESTIÉRCOL/AGUA proporción 1:3 (mg/L)	73,624	62,423	65,884	57,132

Donde:

S.T.= Sólidos totales.

S.V.= Sólidos volátiles.

Del Cuadro 26 se puede observar que la mezcla Estiércol/Agua es la que presenta mayor contenido de sólidos totales y volátiles al inicio y a los 15 días de biodigestión.

También se observa que las dos muestras: Estiércol/suero (1:7) y Suero de quesería, mostraron los menores valores de sólidos totales y volátiles al inicio y a los 15 días de biodigestión.

El contenido de sólidos totales de suero de quesería al inicio del proceso de 61,133 mg/L, se aproxima al obtenido por Ghaly (1996), que fue de 65,930 mg/L. Luego de 15 días de biodigestión se produjo una disminución de sólidos totales llegando a 35,540 mg/L (se generó una reducción del 41.8%).

Por otro lado el contenido de sólidos totales de la mezcla estiércol/agua (1:3) de 73,624 mg/L, difiere moderadamente del obtenido por Ghaly (1996) que fue de 65,870 mg/L. Luego de 15 días de biodigestión se produjo una disminución de sólidos totales llegando a 65,884 mg/L (se generó una reducción del 10.5%).

Como una menor concentración de sólidos totales ayuda a una mejor generación de biogás (Masse *et al.*, 2000), se podría deducir que las dos muestras: Estiércol/suero (1:7) y Suero de quesería, tienen en comparación a las demás muestras señaladas, mejores posibilidades en la generación de biogás.

a.2 Contenido de sólidos totales y volátiles de la mezcla estiércol/suero (proporción 1:7).

A continuación en el Cuadro 27, se presenta la concentración de sólidos totales y volátiles del biol de las dos muestras: estiércol/suero (1:7) y de suero de quesería .

Cuadro 27. Concentración de Sólidos totales y volátiles de los bioles a 15 y 60 días de biodigestión.

BIOL	Al inicio		A los 15 días				A los 60 días			
	S.T.	S.V.	S.T.	Reducción de S.T. (%)	S.V.	Reducción de S.V. (%)	S.T.	Reducción de S.T. (%)	S.V.	Reducción de S.V. (%)
SUERO DE QUESERÍA (mg/L)	63,120	52,903	43,317	31.4	28,674	45.8	38,847	39	0	100.0
ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7 (mg/L)	62,008	51,993	41,221	34.5	28,369	45.4	40,628	34	0	100.0

Donde:

S.T.= Sólidos totales.

S.V.= Sólidos volátiles.

Del resultado visto en el Cuadro 27, se puede observar en relación al suero de quesería, que hubo una reducción de sólidos totales de 31.4 % a los 15 días, y de 39 % a los 60 días (recuérdese que el pH se reguló con Ca(OH)).

Ghaly (1996), determinó en pruebas similares con suero de quesería, una reducción de sólidos totales de 44.4 %, a los 15 días, regulando el pH con Na(OH).

De igual forma el mismo autor, determinó una reducción de sólidos volátiles de 56.1 % en el suero de quesería, mientras que los resultados obtenidos en el presente trabajo, presentaron una reducción de sólidos volátiles de 45.8 %, según el Cuadro 27.

Los resultados de los dos párrafos anteriores, indican una discrepancia moderada de resultados, entre Ghaly (1996) y el presente trabajo, por lo que cabría estudiar a más detalle el efecto de los insumos químicos que regulan el pH, sobre los sólidos totales y volátiles en la biodigestión del suero de quesería, ya que generan un impacto directo en procesos de biodigestión (Ghaly, 1996 y Malaspina *et al.*, 1996).

Del Cuadro 27, también se puede observar que ambas muestras: estiércol/suero (1:7) y de suero de quesería, presentaron un descenso progresivo en la concentración de sólidos totales y volátiles, llegando ambas a una presencia nula de sólidos volátiles a los 60 días de biodigestión.

La legislación nacional, para el desfogue de efluentes, no menciona una reglamentación específica para la concentración de sólidos totales y volátiles, sin embargo indica algunos parámetros relacionados a la medición de sólidos.

Por ejemplo del D.S. N°021-2009-VIVIENDA “Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”, indica un VMA para sólidos suspendidos totales de 500 mg/L.

Mientras que el D.S. N° 003-2010 MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de tratamiento de Aguas residuales domesticas o municipales”, indica por su parte un LMP para sólidos totales en suspensión de 150 mg/L.

- b. Contenido de nitrógeno orgánico y amoniacal del biol de la mezcla estiércol/suero en la proporción 1:7.

A continuación en el Cuadro 28, se presenta la concentración de nitrógeno orgánico y amoniacal del biol de las muestras: estiércol/suero (1:7) y de suero de quesería al inicio y a los 15 días de biodigestión.

Cuadro 28. Concentraciones de Nitrógeno orgánico y Nitrógeno amoniacal al inicio y a los 15 días de biodigestión.

	Al inicio		A los 15 días de biodigestión	
	Nitrógeno orgánico (mg/L)	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Nitrógeno orgánico (mg/L)	Nitrógeno amoniacal (mg/L)
BIOL DE SUERO DE QUESERÍA	959	273	28	485.3
BIOL DE ESTIÉRCOL/SUERO proporción 1:7	1155	301	9.3	569.3

Del resultado visto en el Cuadro 28, se puede observar un decremento del nitrógeno orgánico del biol de suero de quesería de 959 mg/L a 28 mg/L, en 15 días de biodigestión; al mismo tiempo se generó en la misma muestra un incremento de nitrógeno amoniacal de 273 mg/L a 485 mg/L.

Del mismo modo se pudo observar un decremento del nitrógeno orgánico del biol de la mezcla estiércol/suero de la proporción (1:7), de 1155 mg/L a 9.3 mg/L, en 15 días de biodigestión; al mismo tiempo se generó en la misma muestra un incremento de nitrógeno amoniacal de 301 mg/L a 569.3 mg/L.

Existe una moderada discrepancia en relación a la concentración de nitrógeno amoniacal capaz de inhibir la producción de biogás. Mientras que Hashimoto (1989), encontró una inhibición de biogás a una concentración de 20 mg/L de nitrógeno amoniacal en el rango mesofílico; Bermúdez (1988) indicó una inhibición de biogás a una concentración de 80 mg/L de nitrógeno amoniacal.

No obstante considerando los rangos de inhibición por nitrógeno amoniacal, establecido tanto por Hashimoto (1989) como por Bermúdez (1988), se podría deducir que las muestras de suero de quesería con o sin estiércol de vacuno, presentadas en el Cuadro 28, no presentan potencial para la producción de biogás, debido a su alto contenido de nitrógeno amoniacal, siendo el amoniaco libre un importante inhibidor de la fase metanogénica (Zeeman *et al.*, 1985), donde los principales microorganismos afectados a altas concentraciones de amonio son los metanogénicos, disminuyendo su velocidad de crecimiento a cambios bruscos de la concentración de amonio, mientras que la tasa de crecimiento de los microorganismos acidogénicos y acetogénicos en estas variaciones de amonio, no se ven afectadas (Robbins *et al.*, 1989).

Sustento que también se ampara en lo mencionado por Angelidaki y Ahring *et al.* (1993), quienes observaron además que con una concentración de 650 mg/L de nitrógeno amoniacal, la velocidad de crecimiento de los microorganismos metanogénicos disminuye en un 20%.

No obstante, existe una mejor descomposición de los compuestos nitrogenados en el biol de estiércol/suero de la proporción (1:7), ya que el nitrógeno orgánico presentó un importante decremento de un 99%.

c. Carga microbiana

c.1 Carga microbiana del biol del suero de quesería

A continuación se presentan en los Cuadros 29 y 30, los resultados de los análisis microbiológicos del biol de suero de quesería durante su proceso de biodigestión (para más detalle ver Anexo 5).

Cuadro 29. Análisis microbiológicos del biol de suero de quesería, durante su proceso de biodigestión.

PARÁMETROS	Unidad de Medida	Al inicio	A los 15 días	A los 60 días
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	32×10^7	330	130
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	21×10^3	< 1	< 1
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	82×10^7	44×10^5	72×10^5

Cuadro 30. Análisis de *Lactobacillus sp.* del biol de suero de quesería durante su proceso de biodigestión.

Al inicio del proceso de biodigestión	88×10^7	UFC/ml a 35°C
A los 15 días del proceso de biodigestión	41×10^5	UFC/ml a 35°C
A los 60 días del proceso de biodigestión	3×10^5	UFC/ml a 35°C

De los resultados microbiológicos presentes en el Cuadro 29, se observó que a partir del día 15, se produce una considerable reducción de Coliformes Totales, de 32×10^7 UFC/ml a 330 UFC/ml, hasta llegar a 130 UFC/ml a los 60

días de biodigestión. Además de generarse una eliminación total del *E. coli*, a partir del día 15 de iniciado el proceso.

Por otra parte de los resultados presentes en el Cuadro 30 se puede observar que el contenido de *Lactobacillus sp.* Se mantuvo moderadamente constante a partir del día 15 donde se obtuvieron 41×10^5 UFC/ml y al día 60 de su biodigestión, se llegó a contabilizar 3×10^5 UFC/ml.

En consecuencia, debido a la permanencia del contenido de *Lactobacillus* a través del tiempo, podría considerarse a este parámetro como indicador para establecer la vida útil del biol de suero de quesería.

Nótese también que inicialmente el contenido de *Lactobacillus sp.* Fue superior al contenido de Bacterias aerobio mesófilas. Esto podría explicarse debido a que el recuento realizado a las bacterias aerobio mesófilas sólo permite la contabilización de aquellos microorganismos que tienen la capacidad de establecer colonias (Campos, 2001).

c.2 Carga microbiana del biol del de la mezcla estiércol/suero (proporción 1:7)

A continuación se presentan en los Cuadros 31 y 32, los resultados de los análisis microbiológicos del biol de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7, durante su proceso de biodigestión (para más detalle ver Anexo 5).

Cuadro 31. Análisis microbiológico del biol de estiércol de vacuno con suero de quesería (prop. 1:7), durante su proceso de biodigestión.

PARÁMETROS	Unidad de Medida	Al inicio	A los 15 días	A los 60 días
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	39×10^7	11×10^4	2×10^3
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	46×10^4	33	< 1
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	71×10^7	27×10^5	43×10^5

Cuadro 32. Análisis de *Lactobacillus sp.* del biol de estiércol de vacuno con suero de quesería (prop. 1:7), durante su proceso de biodigestión.

Al inicio del proceso de biodigestión	26 X 10 ⁵	UFC/ml a 35°C
A los 15 días del proceso de biodigestión	19 X 10 ⁴	UFC/ml a 35°C
A los 60 días del proceso de biodigestión	1.04 X 10 ⁴	UFC/ml a 35°C

De los resultados microbiológicos presentes en el Cuadro 31, se observa en el biol de estiércol de vacuno con suero de quesería (prop. 1:7), que a partir del día 15, se generó una reducción de Coliformes Totales, de 39×10^7 UFC/ml a 11×10^4 UFC/ml, hasta llegar a 2×10^3 UFC/ml a los 60 días de biodigestión. Además de generarse una eliminación total del *E. coli*, a los 60 días.

Por otra parte de los resultados presentes en el Cuadro 32 se puede observar que el contenido de *Lactobacillus sp.* se mantuvo moderadamente constante a partir del día 15, donde se obtuvieron 19×10^4 UFC/ml y al día 60 de su biodigestión, se llegó a contabilizar 1.04×10^4 UFC/ml.

De los resultados expuestos de los Cuadros 29, 30, 31 y 32 se podría concluir que el biol de suero de quesería ejerce una mejor capacidad de reducir carga microbiana indeseable en comparación a la mezcla estiércol/suero proporción (1:7), además de mantener una mayor carga microbiana de *Lactobacillus sp.*

En la primera semana de biodigestión, en todas las muestras analizadas de suero de quesería con o sin estiércol de vacuno, se obtuvo un valor promedio de pH de 5.5-6.5, valor que coincide dentro del rango óptimo para el crecimiento de lactobacilos que está a un pH entre 5.5-6.2 (Samaniego y Sosa del Castillo, 1998) y de los m.o. metanogénicos que está a un pH entre 6.5-7.5 (Marti, 2006). Sin embargo a medida que se fue elevando la concentración de amonio dentro de los bioles en los días posteriores, los lactobacilos ejercieron ventaja sobre los metanogénicos, ya que son más resistentes a altas concentraciones de amonio (Van Lier, 1995).

Luego en la segunda semana, se incrementó de pH a un valor promedio entre 7.0-7.10, para después obtener un ligero descenso del mismo entre 6.80-6.90 en las semanas posteriores (ver Cuadro 24). Estos valores obtenidos a partir de la segunda

semana de biodigestión habrían provocado un descenso del crecimiento de lactobacilos, los cuales son afectados en medios neutros o ligeramente alcalinos (Samaniego y Sosa del Castillo, 1998), considerando que un crecimiento en la concentración de nitrógeno amoniacal en sistemas de biodigestión tiende a incrementar el pH del medio (Van Lier, 1995).

No obstante los valores de pH promedio entre 7.0-7.10, obtenidos en la segunda semana y de 6.80-6.90 obtenidos en las semanas posteriores, de las muestras de suero de quesería con o sin estiércol de vacuno, coinciden dentro del rango óptimo para el crecimiento de bacterias acetogénicas, que según Joblin (1999) estarían a un pH entre 6.8 y 7.2 (Joblin, 1999).

La influencia del incremento de la concentración de amonio y su relación con el crecimiento de la carga microbiana relacionada a procesos de biodigestión de suero de quesería, según lo descrito líneas arriba se representa gráficamente a continuación en la Figura 27.

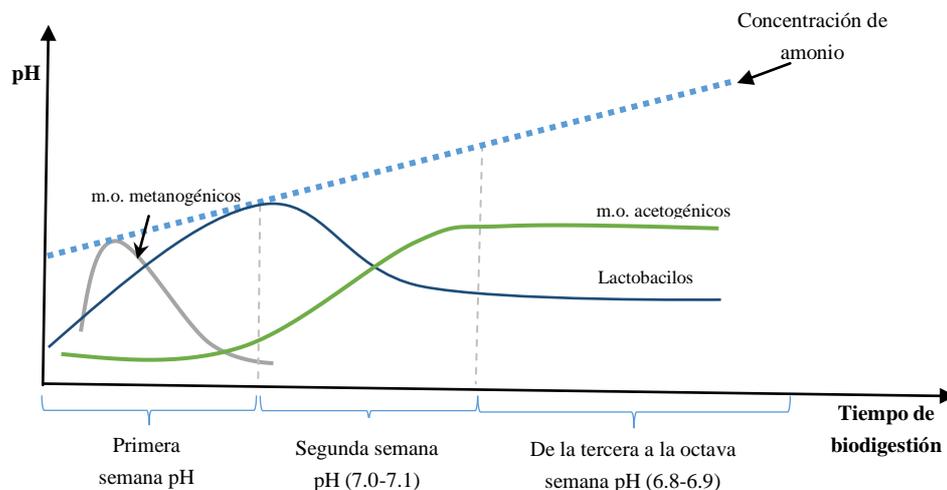


Figura 27. Influencia de la concentración de amonio en el crecimiento de la carga microbiana relacionada a la biodigestión del suero de quesería.

d. Evaluación de la calidad agronómica

d.1 Prueba de toxicidad el biol de la mezcla Estiércol/suero proporción 1:7

A continuación en el Cuadro 33, se presentan las pruebas de toxicidad en el biol de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7, en los 15 y 60 días de biodigestión (para más detalle ver Anexo 2).

Cuadro 33. Pruebas de toxicidad del biol de estiércol/suero (1:7).

BIOL DE ESTIÉRCOL/SUERO (1:7)	PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LAS MUESTRAS DE BIOL A LOS 15 DÍAS DE BIODIGESTIÓN						
		N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
	BLANCO	7	9.64	100.00	100.00	100.00	No tóxico
	BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Tóxico
	BIOL AL 10%	8	3.69	114.29	38.28	43.75	Tóxico
	BIOL AL 1%	9	4.89	128.57	50.73	65.22	Tóxico
	* Según Sobrero y Ronco (2004).						
	PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LAS MUESTRAS DE BIOL A LOS 60 DÍAS DE BIODIGESTIÓN						
		N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
	BLANCO	8	3.86	100.00	100.00	100.00	No tóxico
BIOL AL 100%	2	0.65	25.00	16.84	4.21	Tóxico	
BIOL AL 10%	9	1.26	112.50	32.64	36.72	Tóxico	
BIOL AL 1%	9	2.64	112.50	68.39	76.94	Tóxico	
* Según Sobrero y Ronco (2004).							

De los resultados presentes en el Cuadro 33, se puede observar que el biol de la mezcla estiércol/suero proporción 1:7, mostró toxicidad en todas sus diluciones.

d.2 Prueba de toxicidad el biol de suero de quesería

A continuación en el Cuadro 34, se presentan las pruebas de toxicidad del biol de suero de quesería, en los 15 y 60 días de biodigestión (para más detalle ver Anexo 2).

Cuadro 34. Pruebas de toxicidad del biol de Suero de quesería.

		PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LAS MUESTRAS DE BIOL A LOS 15 DÍAS DE BIODIGESTIÓN						
		N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado	
BIOL DE SUERO DE QUESERÍA	BLANCO	8	3.86	100.00	100.00	100.00	No tóxico	
	BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Tóxico	
	BIOL AL 10%	8	0.98	100.00	25.39	25.39	Tóxico	
	BIOL AL 1%	10	2.93	1.25	75.91	94.88	No tóxico	
	* Según Sobrero y Ronco (2004).							
			PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LOS BIOLES A LOS 60 DÍAS DE BIODIGESTIÓN					
			N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
		BLANCO	7	9.64	100.00	100.00	100.00	No tóxico
		BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Tóxico
		BIOL AL 10%	8	3.46	114.29	35.89	41.02	Tóxico
	BIOL AL 1%	9	6.18	128.57	64.11	82.42	No tóxico	
* Según Sobrero y Ronco (2004).								

De los resultados presentes en el Cuadro 34, se puede observar que biol de suero de quesería no mostró toxicidad al 1 % de dilución pero si al 10 % y 100 % de dilución, tanto en los 15 como en los 60 días de biodigestión.

La fitotoxicidad se puede generar por varios factores tales como, la alta concentración de metales pesados, alta demanda de oxígeno, alta salinidad y alta concentración de ácidos grasos volátiles (Kimura, 2005). La naturaleza del suero de quesería, que en procesos de biodigestión, llega a generar un porcentaje considerable de ácidos grasos volátiles, sobre todo ácido acético y propiónico (Saddoud *et al.*, 2006), por lo que se podría indicar que la fitotoxicidad del suero se debería a la presencia de estos elementos, donde (Ghaly, 1996), indica que estos ácidos grasos volátiles se generan en un 40% a partir de la desintegración de la lactosa del suero.

V. CONCLUSIONES

- El biogás del suero de quesería regulado con Cal, tiene un alto contenido de nitrógeno gaseoso de 99.86% al sexto día de biodigestión, mientras que La mezcla estiércol/suero proporción 1:7 fue la óptima para la para la generación biogás, generando 66.38% de nitrógeno gaseoso y 27.67% de metano en el mismo tiempo de biodigestión.
- Un manejo adecuado y oportuno de pH en el proceso de digestión de suero de quesería, garantizará una tendencia moderadamente neutra entre 6.80-6.90 en el biol a partir de la tercera semana de biodigestión.
- Al pre acidificar el suero de quesería no se requiere el retiro de su grasa, lo que permite un tratamiento integral de todo el suero sin dejar residuos tóxicos.
- El biol de suero de quesería presentó una mejor estabilidad físico química, microbiológica y menor grado de fitotoxicidad en comparación a la mezcla estiércol/suero en la proporción 1:7.
- El contenido de *Lactobacillus sp.* se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo, generándose una mayor carga de estas bacterias en el biol de suero de quesería en comparación a la generada en la mezcla estiércol de vacuno/suero proporción 1:7.
- Un tratamiento anaerobio para procesos de biodigestión con suero de quesería con o sin estiércol es adecuado para lograr la producción de un biol estabilizado del efluente lácteo.
- A mayor tiempo de retención del sustrato en el biodigestor, se genera un menor el contenido de sólidos totales y volátiles en el biol, llegando a una eliminación total de sólidos volátiles a los 60 días de biodigestión tanto en el suero de quesería como en la mezcla estiércol/suero proporción 1:7.
- Los niveles de toxicidad persisten en el biol de la mezcla de estiércol/suero proporción 1:7 a los 15 y 60 días de biodigestión. El biol de suero de quesería solo no es tóxico al 1%, se presume que esta toxicidad se debe a la presencia de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal.
- El aditivo químico para regular el pH del biol, juega un papel importante en la generación de biogás, la cal utilizada para la regulación de pH del suero de quesería, generó una baja producción de metano en el biogás.

- En relación al análisis estadístico se pudo observar que las unidades experimentales fueron moderadamente homogéneas a lo largo del proceso de biodigestión, con un C.V. (%) relativamente constante.
- No existe una diferencia significativa en la producción de biogás entre las mezclas estiércol/suero proporción 1:3 y 1:5, pero sí la existe entre estas dos mezclas y la mezcla 1:7, siendo esta última mayor que las dos anteriores con 793.78% de biogás en comparación a 550.22% y 583.11% respectivamente.
- Un alto contenido de nitrógeno amoniacal de 485.3 mg/L en el biol de suero de quesería y de 569.3 mg/L en la mezcla estiércol/suero proporción 1:7 inhibieron la producción de biogás a los 15 días de biodigestión.

VI. RECOMENDACIONES

Evaluar la forma en que la se encuentra el nitrógeno, ya sea como nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrito o nitrato, en cada una de las etapas del proceso de biodigestión y su relación con la producción de biogás.

Evaluar la viabilidad de las bacterias metanogénicas en sistemas de producción de biogás a partir de residuos de queserías, y establecer su carga en cada etapa del proceso de biodigestión.

Los productores que elaboran queso fresco, requieren trabajar con procesos de biodigestión sin inóculo, para asegurarse no exista contaminación cruzada en el centro de elaboración, por lo que pruebas de biodigestión del quesería sin inóculo son necesarias.

El alto contenido de nitrógeno gaseoso del biol de suero de quesería y de la mezcla de estiércol/suero proporción 1:7, podría ser utilizado para empresas interesadas en el inflado de llantas y neumáticos, que utilizan este elemento debido a la alta eficiencia que derivan de su uso, el nitrógeno genera una adecuada presión en el neumático, que previene fugas y esfuerzo del motor, por ende disminuye el consumo de combustible y desgaste del neumático y frenos. El uso del nitrógeno en la industria también es un gran aporte ecológico al disminuir las emisiones de CO₂ provenientes del esfuerzo adicional que deben hacer los vehículos, al perder presión constantemente en las llantas cuando son infladas con aire.

Realizar pruebas sobre los tipos de aditivos químicos que se puedan usar para la regulación del pH, a niveles neutros en el suero de quesería, que además propicien la generación de metano y biol para fines agrícolas, que puedan ayudar a mantener la concentración de bicarbonato por encima de 2500 mg/L, ya que así se puede asegurar un buen control del pH y una adecuada estabilidad en el sistema (Marti, 2006).

Optimizar el proceso de biodigestión del suero de quesería, añadiendo al flujo de elaboración un proceso de pasteurización del suero antes de someterlo a la acidificación, con la finalidad de disminuir carga microbiana perjudicial y predisponer los nutrientes presentes, logrando así una mayor estabilización del mismo.

Identificar durante el proceso de elaboración de queso fresco, que tipo de preservante añadido normalmente durante la cuajada ejerce el menor efecto perjudicial durante la biodigestion del suero de queseria.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta, F. 2011. Instalación de biodigestores en Cajamarca. Coordinador de Bioenergía y Servicios Básicos de la ONG Soluciones Prácticas. Entrevista realizada el 11 de Octubre de 2011. Lima.

Acosta, F., Marti, J. y Gonsales, L. 2013. Plan del Programa Nacional de Biodigestores del Perú. p. 14-15. Lima. Consultado el 26 mayo del 2013. Dponible en http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/snv-shivos_2013_-_pnb-peru.pdf

AGILENT. 2013. Protocolo para la medición de biogás Agilent 490 Analizador de Biogas Micro GCs. Biblioteca de COGA. Lima, Perú.

Ahring, B.K., Sandberg, M., Angelidaki, I. 1995. Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestors. Applied microbiological Biotechnology. Vol. 43 (3), pag.559-565.

Angelidaki, I., Petersen, SP, Ahring, B. 1990. Effects of lipids on thermophilic anaerobic digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite. Applied Microbiology and Biotechnology.9 Vol. 33(4), pag. 469-472.

Angelidaki, I., Ahring, B.K. 1993. Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. Applied Microbiology and Biotechnology. Vol. 38, pag. 560-564.

Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B.K.1997. Modelling anaerobic codigestion of manure with olive oil mill effluent. Water Science andTechnology. Vol.36 (6-7), pag. 263-269.

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K. y Gruber, L. 2007. Biogás production from maize and dairy cattle manure-Influence or biomass

composition on the methane yield⁹. (en línea). Agriculture Ecosystems & Environment. p. 173-182. Lima. Consultado el 15 mayo. 2011. Disponible en www.elsevier.com/locate/agee.

Aqua Limpia consultores. 2007. Consultado el 25 mar. 2007. Disponible en www.agualimpia.com.

Arrieta, G., Cordero, M. y Polanco, V. 2011. Informe del muestreo de Efluente Planta de Leche UNALM. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Agraria la Molina. Lima Perú.

Bermúdez, J. 1988. Digestión anaerobia. Universidad de Murcia publicaciones. ISBN 84-7684-102-7.

Casas, P., Rivas, L., Soto, Z., Segovia, L., Morales, M., Cuevas, G. y Keissling, D. 2009. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la Cuenca de Delicias, Chih. s.n.t. Méjico. v. 24, p.745-756.

Campos, A. 2001. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante cogestión con residuos orgánicos de la industria alimentaria. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. España.9

Clanton, C., Backus, D., Goodrich, R., Fox, J. y Morris, A. 1987. Anaerobic digestion of cheese whey. Proc. 1987 Food Processing Waste Conf. Atlanta, Georgia.

IV CENAGRO (Cuarto Censo Nacional Agropecuario). 2012. INEI, Consultado el 22 de Mayo del 2013. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib1057/libro.pdf>

Del pozo, A. 2008. Evaluación del proceso de compostaje del estiércol de vacuno empleando buenas prácticas de manejo. Tesis UNALM. Lima Perú.

De la Torre C, N. 2008. Digestión anaeróbica en comunidades rurales. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. Consultado el 15 de

Junio del 2013. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/911627/1/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf

Hobson, P.N. 1990. The treatment of agricultural wastes, en *Anaerobic Digestion: a waste treatment technology*. Editado por Wheatley, A. Critical reports on applied chemistry. Vol. 31, pag. 93-138. Elsevier applied science LTD.

Fernández, E. 2012. Alimentación del ganado vacuno de los establos de la UNALM. Asistente Técnico de la Unidad Experimental de Zootecnia de la UNALM. Entrevista realizada el 22 de Abril de 2012.Lima.

Flores, M. 2011. Biodigestores la Calera. Seminario Biodigestores, promoción y aportes para mejorar la competitividad rural en el Perú, Organizado por el MINAG. Lima Perú. Consultado el 25 de Mayo del 2013..

Fukuzaki, S., Nishio, N., Shobayashi, M., Nagai, S. 1990. Inhibition of fermentation of propionate to methane by hydrogen, acetate, and propionate. *Applied and Environmental Microbiology*, 56 (3), 719-723

Gavala, H., Skiadas, I. y Lyberatos, G. 1999. On the performance of a centralised digestion facility receiving seasonal agroindustrial wastewaters. *Water Sci. Technol.* 40, 339-346.

Ghaly, E. y Ben-Hassan, M. 1989. Continuous production of biogas from dairy manure using an innovative no-mix reactor. *Appl. Biochem. Biotechnol. J.*, 20/21, 541-559.

Ghaly, E. 1996. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairy manure in two stage reactor. *Bioresource Technology*. Canada. 58:61-72.

Hanaki, K., Matsuo, T., Nagase, M. (1981). Mechanism of inhibition caused by long-chain fatty acids in anaerobic digestion process. *Biotechnology and bioengineering*. Vol 23, pag. 1591-1610.

Hashimoto, A.G. 1989. Effect of inoculum/substrate ratio on methane yield and production rate from straw. *Biological wastes*. Vol. 28, pag. 247-255.

Helenice, F. 2003. Mathematical tool to size rural digesters. *Revista Scientia Agricola*. ISSN 0103-9016.

Hulshoff Pol, L., Lens, P., Stams, A., Lettinga, G. 1998. Anaerobic treatment of sulphate-rich wastewaters. *Biodegradation*. Vol. 9, pag. 213-224.

Joblin, K.N. 1999. Ruminal acetógenos and their potential to lower ruminant methane emissions. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 1307 -1313

Kimura, R. 2005. Evaluación de los efectos del producto ENZYMPPLUS (activador biológico) en la elaboración de compost utilizando dos tipos de estiércol (ovino vacuno). Para optar por el grado de Magister en ciencias ambientales. Tesis UNALM. Lima Perú.

Lay, J.J., Li, Y.Y., Noike, T. 1997. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. *Water Research*, vol. 31 (10). pag. 1518-1524.

Leite, R., Guimaraes, V., De Araujo, F. y Silva, O. 2000. Fermentation of sweet whey by recombinant *Echerichia coli* K011. *Braz. J. Microbiol.* 31:1517-8382. Fuente original: Saddoud, A; Hassarri, I; Sayadi, S. 2006. Anaerobic membrane reactor with pHase separation for the treatment of cheese whey. *Laboratoire des Bio-procéde Centre de Biotechnologie. Bioresource Technology. Tunisia.* 98: 2101-2108.

Rittmann, B. y McCarty, P. 2001. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Editorial Mc Graw Hill. ISBN 0072345535

Malaspina, F., Cellamare, M., Stante, L. y Tilche, A. 1996. Anaerobic treatment of cheese whey with a down flow hybrid reactor. *Bioresour. Technol.* 55:131-139.

Marisse, C. 2012. Ensayo de la biodigestión anaeróbica con suero láctico para la producción de biogás. Consultado el 20 de Julio del 2013. Disponible en : <http://es.scribd.com/doc/90741382/ensayo-de-la-biodigestion-anaerobica-con-suero-lactico-para-la-produccion-de-biogas>

Marti, N. 2006. PHospHorus precipitation in anaerobic digestion process. USA. ISBN 1-58112-332-9.

Masse, I., Croteau, F., Patni, K. y Masse, L. 2000. Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10⁰C at 15⁰C. Agriculture and Agri – foods Canada , Dairy and Swine Research and Development Centre. Canadian Biosystems Engineering. Quebec Canada. 45: p. 6.1- 6.6.

Mechichi, T. y Sayadi, S. 2005. Evaluating process imbalance of anaerobic digestion of olive mill wastewaters . Process Biochem. 40,139-145.

Miranda, O., Palma., Fonseca., Cutiño., Lara. y Cedeño. 2008. Características físico químicas de sueros de queso dulce y acido producidos en el combinado de quesos bayamo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. Bayamo. Granma. Rev Cub Aliment Nutr 2009;19(1):21-25. Consultado el 10 de Mayo del 2013. Disponible en: http://www.revicubalimentanut.sld.cu/Vol_19_1/Articulo_1_19_1_21_25.pdf

Mucha, M. 2005. Evaluación del flujo de nitrógeno en los establos vacunos de la UNALM mediante el método de flujo de materiales. Tesis UNALM. Lima Perú.

Ocampo, O., Cristiani, E. y Juarez, C. 2000. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Méjico. Consultado el 2 de Junio del 2013. Disponible en http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/CVI-20.pdf

Ramírez, E. 2013. Manejo del suero de quesería. Jefe de producción de la Empresa COCELAC. Entrevista realizada el 8 de Abril del 2013. Concepción - Junín.

Robbins, J.E., Gerhardt, S.A., Kappel, T.J. 1989. Effects of total ammonia on anaerobic digestion and an example of digester performance from cattle manure-protein mixture. *Biological wastes*. Vol. 27, pag. 1-4.

Rodríguez, E. 2011. Producción de biogás en Perú. Gerente de Línea en Agro negocios – Biodigestores CIDELSA Entrevista realizada el 22 de Noviembre del 2011. Lima.

Saddoud, A., Hassaïri, y Sayadi, S. 2006. Anaerobic membrane reactor with pHase separation for the treatment of cheese whey. *Laboratoire des Bio-procéde Centre de Biotechnologie. Bioresource Technology. Tunisia*. 98: 2101-2108.

Sage, M., Daufin, G. y Gesan, G. 2007. Effect of Prehydrolysis of Milk Fat on its Conversion to Biogas. *Institut National de la Recherche Agronomique. J. Dairy Science Association. France*. 91:4062-4074.doi:10.3168/jds.2007-0931

Saico, Lilian. 2003. Determinación de sustratos óptimos para la producción de biogás a partir de estiércol de vacuno. Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú.

Samaniego, L. y Sosa del Catillo, M. 1998. Importantes promotores de actividad pro biótica, antimicrobiana y bio conservadora. Centro de Estudios Biotecnológicos. Facultad de Agronomía. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Matanzas, Cuba.

Sánchez, G., Gil, M. y Giraldo, F. 2009. Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. Grupo de Investigación de Alimentos GRIAL. Laboratorio de química y biotecnología.

Universidad Lasallista. Consultado el 2 de Junio del 2013. Disponible en <http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/Vol4n2/65-74.pdf>

Sanchez, M. 2011. Diagnóstico de los biodigestores en Cajamarca: investigaciones realizadas en la UNC. Curso taller de Biodigestores del MINAG. Cajamarca Perú. Realizado el 13 de Julio del 2011.

Sobrero, M. y Ronco, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L.* página 202. Canada.

Speece, R.E. 1987. Toxicity en Anaerobic Digestion of biomass. Editado por Chynowth D. Y y Isaacson, R. Elsevier applied science LTD.

Yan, Q., Lo, V. y Pinder, L. 1989. Anaerobic digestión of cheese whey using up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *Biol. Wastes*, 27:289-305.

Valencia, J. 2008. El suero de quesería y sus posibles aplicaciones. *Revista Mundo Lácteo y Cárnico*. España.

Van Lier, J.B., Hulsbeek, J., Stams, A.J., Lettinga, G. 1993. Temperature susceptibility of thermophilic methanogenic sludge: implication for reactor start-up and operation. *Bioresource technology*. Vol. 43, pag. 227-235.

Van Lier, J.B. 1995. Temperature optima of thermophilic methanogenic sludge: implications for reactor start-up and operation, en *Thermophilic anaerobic wastewater treatment; temperature aspects and process stability*. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen. Veluwe.

Zamora, J. 2006. Depuración biotecnológica del suero lácteo empleando un sistema continuo mixto: anaerobio de lecho fijo y aerobio. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Méjico.

Zavala, M. 2013. Representante del Ministerios de Agricultura, Conversatorio de cadenas agroalimentarias gastronómicas - Mistura 2013. Realizado el 8 de Abril del 2013. Lima.

ANEXOS

Anexo 1

DIETA ALIMENTICIA DEL GANADO VACUNO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL DE ZOOTECNIA - UNALM													
INSUMOS	Utilidad/Detalle	VACAS EN PRODUCCION (VP)						PRE- PARTO		VAQUILLONAS		TERNERAS	
		ALTA		MEDIA		BAJA		4.2	consumo (gr/día)	4	consumo (gr/día)	3	consumo (gr/día)
		14	consumo (gr/día)	10	consumo (gr/día)	6	consumo (gr/día)						
Afrecho de trigo		2.380	0.333	3.900	0.390	2.340	0.140	1.210	0.051	0.770	0.031	1.150	0.035
Melaza		0.798	0.112	1.050	0.105	0.630	0.038	0.120	0.005	0.460	0.018	0.280	0.008
Sal		0.084	0.012	0.050	0.005	0.030	0.002	0.020	0.001	0.020	0.001	0.020	0.001
Pepa de algodón		1.092	0.153	0.950	0.095	0.570	0.034	0.300	0.013	0.190	0.008	0.000	0.000
Carbonato de calcio		0.224	0.031	0.070	0.007	0.042	0.003	0.000	0.000	0.040	0.002	0.030	0.001
Maiz		4.928	0.690	1.720	0.172	1.032	0.062	1.060	0.045	0.200	0.008	0.750	0.023
Torta de soya		3.150	0.441	1.170	0.117	0.702	0.042	1.400	0.059	0.430	0.017	0.590	0.018
Hominy Feed		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Forraje Marigold	provee fibra y proteína	0.700	0.098	1.040	0.104	0.624	0.037	0.000	0.000	1.860	0.074	0.160	0.005
Premix 108	provee vitaminas, minerales y levaduras	0.042	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Premix ST	provee vitaminas y minerales	0.000	0.000	0.040	0.004	0.024	0.001	0.000	0.000	0.030	0.001	0.020	0.001
Energy fat	jabon calcico	0.336	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Yeassac	provee microorganismos beneficos	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mycosorb	secuestrante de micotoxinas	0.014	0.002	0.010	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Urea	secuestrante de micotoxinas	0.070	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bicarbonato sodio	secuestrante de micotoxinas	0.070	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optigen II	urea	0.084	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Glucogen C40	glucogeno	0.280	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
CONSUMO TOTAL DE INSUMOS (gr/día)			1.995		1.000		0.360		0.176		0.160		0.090
Concentrado		14.000		10.000		6.000		4.200		0.000		3.000	
Panca (chala seca)	planta de maiz seca	0.000		0.000		0.000		0.000		4.000		0.000	
Chala choleada	planta de maiz fresca y trozada con mazorca	37.000		37.000		37.000		30.000		12.000		10.000	
Orujo	sub producto de la cerveceria	10.000		10.000		10.000		0.000		0.000		0.000	
CONSUMO TOTAL POR CABEZA (gr/día)			62.995		58.000		53.360		34.376		16.160		13.090

Fuente: Fernández, 2012

Anexo 2

PRUEBA DE GERMINACIÓN Y TOXICIDAD EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD DE SUERO DE QUESERIA Y BIOL DE SUERO/ESTIERCOL PROPORCION 1:7 (A 15 días de biodigestión)

OBJETIVOS

- Determinar el máximo potencial germinativo de una semilla usando las diferentes concentraciones del biol de quesería y la mezcla suero/estiércol proporción 1:7.
- Evaluar la toxicidad de las semillas de maíz en relación a la elongación de la radícula en las diferentes concentraciones del biol.

1.RESULTADOS DEL BIOL DE QUESERIA

1.1 Caracterización de las semillas germinadas a diferentes concentraciones de biol de suero de quesería:

Semillas de maíz usadas	Elongación de la radícula (mm)			
	BLANCO (8 semillas germinadas)	Biol de Suero de Quesería		
		Al 100% (0 semillas germinadas)	Al 10% (8 semillas germinadas)	Al 1% (10 semillas germinadas)
1	4.6	*	0.6	1.3
2	0.9	*	1.4	3.1
3	2.2	*	1.9	2.4
4	5	*	1.2	4.7
5	4.7	*	0.6	2.3
6	1.9	*	0.8	3.1
7	4.7	*	0.7	1.3
8	6.9	*	0.6	3.9
9	*	*	*	3.7
10	*	*	*	3.8
Elongación prom. de la radícula (mm)	3.86	0.00	0.98	2.96

1.2 Índice de germinación (IG) de semillas de maíz, en solución de Biol de suero de quesería.

PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LOS BIOLES A LOS 15 DIAS DE BIODIGESTION						
Del BIOL DE SUERO DE QUESERIA	N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
BLANCO	8	3.86	100.00	100.00	100.00	No toxico
BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Toxico
BIOL AL 10%	8	0.98	100.00	25.39	25.39	Toxico
BIOL AL 1%	10	2.93	1.25	75.91	94.88	No toxico

* Segun Manual de Prueba de germinación y toxicidad de semilla , Dpto Ingeniería Ambiental UNALM

Anexo 2 (continuación...)

Donde:

- PGR es el Porcentaje de Germinación Relativo.
- CRR es el Crecimiento de Radícula Relativo.
- IG es Índice de Germinación

2. RESULTADOS DEL BIOL SUERO/ESTIERCOL (1:7)

2.1 Caracterización de las semillas germinadas a diferentes concentraciones de biol de Estiércol/suero (1:7)

Semillas de maíz usadas	Elongación de la radícula (mm)			
	BLANCO (8 semillas germinadas)	Biol de Estiercol/Suero (1:7)		
		Al 100% (2 semillas germinadas)	Al 10% (9 semillas germinadas)	Al 1% (9 semillas germinadas)
1	4.6	0.6	0.4	1.8
2	0.9	0.7	0.1	3.5
3	2.2	*	1.5	2
4	5	*	1.1	1.9
5	4.7	*	2.6	2.4
6	1.9	*	2.5	3
7	4.7	*	0.2	2.6
8	6.9	*	1.1	3.6
9	*	*	1.8	3
10	*	*	*	*
Elongación prom. de la radícula (mm)	3.86	0.65	1.26	2.64

2.2 Índice de germinación (IG) de semillas de maíz, en solución de biol de Estiércol/suero (1:7).

PRUEBAS DE TOXICIDAD DE LOS BIOLES A LOS 60 DIAS DE BIODIGESTION						
Del BIOL DE ESTIERCOL/SUERO (1:7)	N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
BLANCO	8	3.86	100.00	100.00	100.00	No toxico
BIOL AL 100%	2	0.65	25.00	16.84	4.21	Toxico
BIOL AL 10%	9	1.26	112.50	32.64	36.72	Toxico
BIOL AL 1%	9	2.64	112.50	68.39	76.94	Toxico

* Segun Manual de Prueba de germinacion y toxicidad de semilla , Dpto Ingenieria Ambiental UNALM

Anexo 2 (continuación...)

PRUEBA DE GERMINACIÓN Y TOXICIDAD EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE SUERO DE QUESERÍA Y BIOL DE SUERO/ESTIERCOL PROPORCIÓN 1:7 (A 60 días de biodigestión)

OBJETIVOS

- Determinar el máximo potencial germinativo de una semilla usando las diferentes concentraciones del biol de quesería y la mezcla suero/estiércol proporción 1:7.
- Evaluar la toxicidad de las semillas de maíz en relación a la elongación de la radícula en las diferentes concentraciones del biol.
-

1.RESULTADOS DEL BIOL DE QUESERÍA

1.3 Caracterización de las semillas germinadas a diferentes concentraciones de biol de suero de quesería:

Semillas de maíz usadas	Elongación de la radícula (mm)			
	BLANCO (7 semillas germinadas)	Biol de Suero de Quesería		
		Al 100% (0 semillas germinadas)	Al 10% (8 semillas germinadas)	Al 1% (9 semillas germinadas)
1	11	*	0.9	9.1
2	12.6	*	4.1	4.6
3	13.6	*	1.6	5.4
4	10.4	*	1.5	11.6
5	6.5	*	2.7	7.9
6	3	*	7.6	8.5
7	10.4	*	7.3	4.9
8	*	*	2	0.6
9	*	*	*	3
10	*	*	*	*
Elongación prom. de la radícula (mm)	9.64	0.00	3.46	6.18

1.4 Índice de germinación (IG) de semillas de maíz, en solución de Biol de suero de quesería.

DeI BIOL DE SUERO DE QUESERÍA	N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
BLANCO	7	9.64	100.00	100.00	100.00	No toxico
BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Toxico
BIOL AL 10%	8	3.46	114.29	35.89	41.02	Toxico
BIOL AL 1%	9	6.18	128.57	64.11	82.42	No toxico

* Segun Manual de Prueba de germinacion y toxicidad de semilla , Dpto Ingenieria Ambiental UNALM

Anexo 2 (continuación...)

Donde:

- PGR es el Porcentaje de Germinación Relativo.
- CRR es el Crecimiento de Radícula Relativo.
- IG es Índice de Germinación

2. RESULTADOS DEL BIOL SUERO/ESTIERCOL (1:7)

2.3 Caracterización de las semillas germinadas a diferentes concentraciones de biol de Estiércol/suero (1:7)

Semillas de maíz usadas	Elongación de la radícula (mm)			
	BLANCO (7 semillas germinadas)	Biol de Estiercol/Suero (1:7)		
		Al 100% (0 semillas germinadas)	Al 10% (8 semillas germinadas)	Al 1% (9 semillas germinadas)
1	11	*	1.6	3.2
2	12.6	*	2.3	6.6
3	13.6	*	3	9.7
4	10.4	*	1.6	6.6
5	6.5	*	8.1	7.7
6	3	*	7	6.5
7	10.4	*	3	1.6
8	*	*	2.9	1.1
9	*	*	*	1
10	*	*	*	*
Elongación prom. de la radícula (mm)	9.64	0.00	3.69	4.89

2.4 Índice de germinación (IG) de semillas de maíz, en solución de biol de Estiércol/suero (1:7).

Del BIOL DE ESTIERCOL/SUERO (1:7)	N° de semillas germinadas	Elongación prom. de la radícula (mm)	PGR	CRR	(%) IG	*Estado
BLANCO	7	9.64	100.00	100.00	100.00	No toxico
BIOL AL 100%	0	0	0.00	0.00	0.00	Toxico
BIOL AL 10%	8	3.69	114.29	38.28	43.75	Toxico
BIOL AL 1%	9	4.89	128.57	50.73	65.22	Toxico

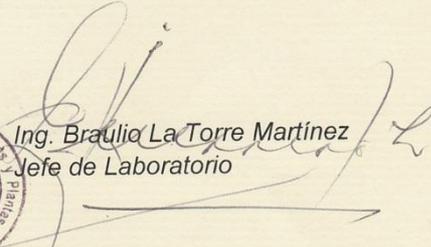
* Segun Manual de Prueba de germinacion y toxicidad de semilla , Dpto Ingenieria Ambiental UNALM

Anexo 3

Caracterización físico/química del suero de quesería y del estiércol de vacuno

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES</p>	
INFORME DE ANALISIS ESPECIAL		
SOLICITANTE	:	MARISOL ZAMBRANO DIAZ
PROCEDENCIA	:	LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE	:	SUERO DE LECHE
REFERENCIA	:	H.R. 36474
BOLETA	:	9052
FECHA	:	07/08/12

N° LAB	CLAVES	C g/L	N mg/L
3266		38.3	1307.60


Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio



Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 3 (continuación...)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MARISOL ZAMBRANO DIAZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : HECES DE RES
REFERENCIA : H.R. 36473
BOLETA : 9052
FECHA : 13/08/12

Nº LAB	CLAVES	N %	C %
503		2.07	36.75



Braulio La Torre Martínez
Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 3 (continuación...)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



INFORME DE ENSAYOS
N° 300-2012-DQ

SOLICITANTE : Marisol Zambrano
PRODUCTO DECLARADO : Suero de Leche
CANTIDAD RECIBIDA : 1L
MARCA : S/M
FORMA DE PRESENTACIÓN : En frasco de plástico.
MUESTREADO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.
FECHA DE RECEPCIÓN : 06 de Agosto 2012.
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO.

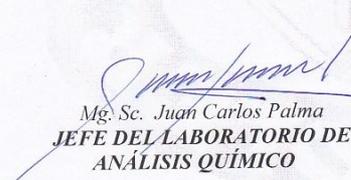
ENSAYOS FÍSICO/QUÍMICOS:

ENSAYO	RESULTADOS
1.- Grasa Cruda (g/100 g de muestra original)	0,45
2.- Proteína Cruda(g/100 g de muestra original)(N x 6.25)	0,94
3.- Azúcares reductores totales determinados como lactosa (g/l de muestra original)	52,79

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

1. - AOAC 905.02
2. - AOAC 920.105
3. - Miller. 1959

Atentamente:


Mg. Sc. Juan Carlos Palma
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO




Mg. Sc. Cecilia Nieto Aravena
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

Anexo 4

Caracterización de biogás por cromatografía de gases de las muestras experimentales
del Experimento 7

Del suero de quesería al cuarto día de biodigestión:

	ACTA DE CONTROL	Identificación: COG 001 TR CC FO 1003	Versión : 0	Pág. 1 de 1														
	CALIDAD DE BIOGAS PRECISIÓN - REPETIBILIDAD																	
LOCACION DE MUESTREO:		NO ESPECIFICA																
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:		Protocolo Agilent 490 Analizador de Biogas Micro GCs																
TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA LÍNEA:		20.0°C /1.01 Barg																
EJECUTOR:		Nestor Valdivieso																
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:		BIOGAS DE SUERO DE QUESERIA al cuarto día de biodigestion																
MÉTODO DE ANÁLISIS UTILIZADO (LABORATORIO COGA):		ASTM D 1945																
EQUIPO UTILIZADO:		Cromatógrafo de Gases con detector FID																
MARCA Y MODELO (LABORATORIO COGA):		AGILENT 6890N																
N° CILINDRO PATRÓN (LABORATORIO COGA):		414369Y																
EJECUTOR - LABORATORIO COGA:		Nestor Valdivieso																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">COMPONENTE</th> <th colspan="2">CORRIDA (%)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N2</td> <td>73.5338</td> <td>73.7169</td> </tr> <tr> <td>C1 (metano)</td> <td>0.0132</td> <td>0.0132</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td>26.4530</td> <td>26.2699</td> </tr> </tbody> </table>					COMPONENTE	CORRIDA (%)		1	2	N2	73.5338	73.7169	C1 (metano)	0.0132	0.0132	CO2	26.4530	26.2699
COMPONENTE	CORRIDA (%)																	
	1	2																
N2	73.5338	73.7169																
C1 (metano)	0.0132	0.0132																
CO2	26.4530	26.2699																
Observaciones Generales: <u>BIOGAS DE SUERO DE QUESERIA al cuarto día de biodigestion</u> <hr/> <hr/> <hr/>																		

Anexo 4 (continuación...)

Del suero de quesería al sexto día de biodigestión:

	ACTA DE CONTROL	Identificación: COG 001 TR CC FO 1003	Versión : 0	Pág. 1 de 1														
	CALIDAD DE BIOGAS PRECISIÓN - REPETIBILIDAD																	
<p><i>PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:</i> <i>NO ESPECIFICA</i></p> <p><i>TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA LÍNEA:</i> <i>20.0°C /1.01 Barg</i></p> <p><i>EJECUTOR:</i> <i>Nestor Valdivieso</i></p> <p><i>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</i> <i>BIOGAS DE SUERO DE QUESERIA al sexto día de biodigestion</i></p>																		
<p><i>MÉTODO DE ANÁLISIS UTILIZADO (LABORATORIO COGA):</i> <i>ASTM D 1945</i></p> <p><i>EQUIPO UTILIZADO:</i> <i>Cromatógrafo de Gases con detector FID</i></p> <p><i>MARCA Y MODELO (LABORATORIO COGA):</i> <i>AGILENT 6890N</i></p> <p><i>N° CILINDRO PATRÓN (LABORATORIO COGA):</i> <i>414369Y</i></p> <p><i>EJECUTOR - LABORATORIO COGA:</i> <i>Nestor Valdivieso</i></p>																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">COMPONENTE</th> <th colspan="2">CORRIDA (%)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N2</td> <td>99.8514</td> <td>99.8688</td> </tr> <tr> <td>C1 (metano)</td> <td>0.0651</td> <td>0.0646</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td>0.0835</td> <td>0.0666</td> </tr> </tbody> </table>					COMPONENTE	CORRIDA (%)		1	2	N2	99.8514	99.8688	C1 (metano)	0.0651	0.0646	CO2	0.0835	0.0666
COMPONENTE	CORRIDA (%)																	
	1	2																
N2	99.8514	99.8688																
C1 (metano)	0.0651	0.0646																
CO2	0.0835	0.0666																
<p>Observaciones Generales: <u>BIOGAS DE SUERO DE QUESERIA al sexto día de biodigestion</u></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																		

Anexo 4 (continuación...)

De la mezcla estiércol/suero (1:7) al cuarto día de biodigestión:

	ACTA DE CONTROL	Versión : 0	Pág. 1 de 1														
	CALIDAD DE BIOGAS PRECISIÓN - REPETIBILIDAD																
<p>LOCACION DE MUESTREO: <i>NO ESPECIFICA</i></p> <p>PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: <i>Protocolo Agilent 490 Analizador de Biogas Micro GCs</i></p> <p>TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA LÍNEA: <i>20.0°C /1.01 Barg</i></p> <p>EJECUTOR: <i>Nestor Valdivieso</i></p> <p>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: <i>BIOGAS DE LA MEZCLA ESTIERCOL/ SUERO (1:7) al cuarto día de biodigestion</i></p>																	
<p>MÉTODO DE ANÁLISIS UTILIZADO (LABORATORIO COGA): <i>ASTM D 1945</i></p> <p>EQUIPO UTILIZADO: <i>Cromatógrafo de Gases con detector FID</i></p> <p>MARCA Y MODELO (LABORATORIO COGA): <i>AGILENT 6890N</i></p> <p>N° CILINDRO PATRÓN (LABORATORIO COGA): <i>414369Y</i></p> <p>EJECUTOR - LABORATORIO COGA: <i>Nestor Valdivieso</i></p>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">COMPONENTE</th> <th colspan="2">CORRIDA (%)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N2</td> <td>25.488546</td> <td>25.846897</td> </tr> <tr> <td>C1 (metano)</td> <td>0.000269</td> <td>0.000354</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td>74.511185</td> <td>74.152749</td> </tr> </tbody> </table>				COMPONENTE	CORRIDA (%)		1	2	N2	25.488546	25.846897	C1 (metano)	0.000269	0.000354	CO2	74.511185	74.152749
COMPONENTE	CORRIDA (%)																
	1	2															
N2	25.488546	25.846897															
C1 (metano)	0.000269	0.000354															
CO2	74.511185	74.152749															
<p>Observaciones Generales: <u>BIOGAS DE LA MEZCLA ESTIERCOL/ SUERO (1:7) al cuarto día de biodigestion</u></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																	

Anexo 4 (continuación...)

De la mezcla estiércol/suero (1:7) al sexto día de biodigestión:

	ACTA DE CONTROL	Identificación: COG 001 TR CC FO 1003	Versión : 0	Pág. 1 de 1														
	CALIDAD DE BIOGAS PRECISIÓN - REPETIBILIDAD																	
<p>LOCACION DE MUESTREO: <i>NO ESPECIFICA</i></p> <p>PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: <i>Protocolo Agilent 490 Analizador de Biogas Micro GCs</i></p> <p>TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA LÍNEA: <i>20.0°C /1.01 Barg</i></p> <p>EJECUTOR: <i>Nestor Valdivieso</i></p> <p>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: <i>BIOGAS DE LA MEZCLA ESTIERCOL/ SUERO (1:7) al sexto día de biodigestión</i></p>																		
<p>MÉTODO DE ANÁLISIS UTILIZADO (LABORATORIO COGA): <i>ASTM D 1945</i></p> <p>EQUIPO UTILIZADO: <i>Cromatógrafo de Gases con detector FID</i></p> <p>MARCA Y MODELO (LABORATORIO COGA): <i>AGILENT 6890N</i></p> <p>N° CILINDRO PATRÓN (LABORATORIO COGA): <i>414369Y</i></p> <p>EJECUTOR - LABORATORIO COGA: <i>Nestor Valdivieso</i></p>																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">COMPONENTE</th> <th colspan="2">CORRIDA (%)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N2</td> <td>66.2928</td> <td>66.4592</td> </tr> <tr> <td>C1 (metano)</td> <td>27.6744</td> <td>27.6694</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td>6.0329</td> <td>5.8714</td> </tr> </tbody> </table>					COMPONENTE	CORRIDA (%)		1	2	N2	66.2928	66.4592	C1 (metano)	27.6744	27.6694	CO2	6.0329	5.8714
COMPONENTE	CORRIDA (%)																	
	1	2																
N2	66.2928	66.4592																
C1 (metano)	27.6744	27.6694																
CO2	6.0329	5.8714																
<p>Observaciones Generales: <u>BIOGAS DE LA MEZCLA ESTIERCOL/ SUERO (1:7) al sexto día de biodigestion</u></p> <p>_____</p> <p>_____</p>																		

Anexo 4 (continuación...)

	ACTA DE CONTROL	VERSIÓN:	pág 1 de 1
	REPORTE DE MUESTRA DE BIOGAS		

Solicitante: Marisol Zambrano

Muestra/Color	biogas de suero de queseria: al cuarto dia de biodigestion					
Componente	Corrida (%)		Promedio (%)	Poder calorífico		Gravedad Especifica
	1	2		Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)	
N ₂	73.533798	73.716902	73.625350	0.005	0.004	1.114
CH ₄ (metano)	0.013176	0.013171	0.013174			
CO ₂	26.453026	26.269928	26.361477			

Muestra/Color	biogas de suero de queseria: al sextodia de biodigestion					
Componente	Corrida (%)		Promedio (%)	Poder calorífico		Gravedad Especifica
	1	2		Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)	
N ₂	99.851438	99.868761	99.860100	0.0245	0.022	0.967
CH ₄ (metano)	0.065092	0.064634	0.064863			
CO ₂	0.083470	0.066605	0.075038			

Muestra/Color	biogas de mezcla estiércol/suero (1: 7): al cuarto dia de biodigestion					
Componente	Corrida (%)		Promedio (%)	Poder calorífico		Gravedad Especifica
	1	2		Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)	
N ₂	25.488546	25.846900	25.667723	0.00013	0.00011	1.382
CH ₄ (metano)	0.000269	0.000400	0.000335			
CO ₂	74.511185	74.152700	74.331943			

Muestra/Color	biogas de mezcla estiércol/suero (1: 7): al sexto dia de biodigestion					
Componente	Corrida (%)		Promedio (%)	Poder calorífico		Gravedad Especifica
	1	2		Superior (MJ/m ³)	Inferior (MJ/m ³)	
N ₂	66.292752	66.459183	66.375968	10.4423	9.401	0.886
CH ₄ (metano)	27.674386	27.669372	27.671879			
CO ₂	6.032861	5.871445	5.952153			

Anexo 5

Análisis microbiológicos de las muestras de biol de: suero de quesería y estiércol/suero

Martes, 10 de septiembre de 2013.

INFORME DE ENSAYO

Solicitante: Marisol Zambrano Díaz.

Dirección Legal: Jr. Gálvez Silvera 275 San Luis- Lima

Producto: Muestra de Biol de suero de quesería.

Fecha de Recepción: 10 de Setiembre del 2013.

Identificación de la Muestra: ½ Lt. De muestra en frasco de vidrio, indicados como:

Muestra 1: Biol de suero de quesería más inóculo (al inicio del proceso de biodigestión).

Muestra 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (al inicio del proceso de biodigestión).

Anexo 5 (continuación...)

I. CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS

A. ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA 1: Biol de suero de quesería más inóculo (al inicio del proceso de biodigestión).

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	32 x 10 ⁷ UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	21 x 10 ³ UFC/ml
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	82 x 10 ⁷ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	88 x 10 ⁷ UFC/ml

MUESTRA 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (al inicio del proceso de biodigestión).

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	39 x 10 ⁷ UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	46 x 10 ⁴ UFC/ml
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	71 x 10 ⁷ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	26 x 10 ⁸ UFC/ml

Metodología

Coliformes totales y Escherichia coli (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Coliform and Escherichia coli counts in food - Dry Rehydratable Fil Methods. AOAC 991.14

Mesofilos aerobios viables (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Aerobic plate count in food - Dry Rehydratable Fil Method. AOAC 990.12

Lactobacillus sp. (Recuento) Downes, F.P., and K. Ito (eds.). 2001. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th edition. American Public Health Association (APHA). Washington, D.C. USA.

Norma de Referencia

Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano RM N° 591-2008/MINSA NTS N° 071-MINSA/DIGESA ítem 1. Leche y productos lácteos.

Martes, 24 de setiembre del 2013.

INFORME DE ENSAYO

Solicitante: Marisol Zambrano Díaz.

Dirección Legal: Jr. Gálvez Silvera 275 San Luis-Lima.

Producto: Muestra de Biol de suero de quesería.

Fecha de Recepción: 24 de Setiembre del 2013

Identificación de la Muestra: ½ Lt. De muestra en frasco de vidrio, indicados como:

Muestra 1: Biol de suero de quesería más inóculo (con 15 días de biodigestión).

Muestra 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (con 15 días de biodigestión).

II. CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS

B. ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA 1: Biol de suero de quesería más inóculo (con 15 días de biodigestión)

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	330 UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	< 1 UFC/ml
<i>Bacterias Mesófilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	44x10 ⁵ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	41 x 10 ⁵ UFC/ml

MUESTRA 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (con 15 días de biodigestión).

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	11x10 ⁴ UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	33 UFC/ml
<i>Bacterias Mesófilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	27x10 ⁵ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	19 x 10 ⁴ UFC/ml

Metodología

Coliformes totales y Escherichia coli (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Coliform and Escherichia coli counts in food - Dry Rehydratable Fil Methods. AOAC 991.14

Mesofilos aerobios viables (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Aerobic plate count in food - Dry Rehydratable Fil Method. AOAC 990.12

Lactobacillus sp. (Recuento) Downes, F.P., and K. Ito (eds.). 2001. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th edition. American Public Health Association (APHA). Washington, D.C. USA.

Norma de Referencia

Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano RM N° 591-2008/MINSA NTS N° 071-MINSA/DIGESA ítem 1. Leche y productos lácteos.

Viernes, 8 de noviembre del 2013.

INFORME DE ENSAYO

Solicitante: Marisol Zambrano Díaz.

Dirección Legal: Jr. Gálvez Silvera 275 San Luis-Lima.

Producto: Muestra de Biol de suero de quesería.

Fecha de Recepción: 8 de Noviembre del 2013.

Identificación de la Muestra: ½ Lt. De muestra en frasco de vidrio, indicados como:

Muestra 1: Biol de suero de quesería más inóculo (con 60 días de biodigestión).

Muestra 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (con 60 días de biodigestión).

III. CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS

C. ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MUESTRA 1: Biol de suero de quesería más inóculo (con 60 días de biodigestión).

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	130 UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	< 1 UFC/ml
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	72x10 ⁵ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	3 x 10 ⁵ UFC/ml

MUESTRA 2: Muestra 2: Biol de suero de quesería con estiércol de vacuno (proporción 1:7), más inóculo (con 60 días de biodigestión).

PARAMETROS	Unidad de Medida	RESULTADO
<i>Bacterias Coliformes Totales.</i>	UFC/ ml a 35°C	2x10 ³ UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ ml a 45°C	< 1 UFC/ml
<i>Bacterias Mesofilos aerobios viables</i>	UFC/ml a 35°C	43x10 ⁵ UFC/ml
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/ml a 35°C	1.04 x 10 ⁴ UFC/ml

Metodología

Coliformes totales y Escherichia coli (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Coliform and Escherichia coli counts in food - Dry Rehydratable Fil Methods. AOAC 991.14

Mesofilos aerobios viables (Recuento). Official methods of analysis of AOAC international. Chapter 17. 18 Ed. 2005. Aerobic plate count in food - Dry Rehydratable Fil Method. AOAC 990.12

Lactobacillus sp. (Recuento) Downes, F.P., and K. Ito (eds.). 2001. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th edition. American Public Health Association (APHA). Washington, D.C. USA.

Norma de Referencia

Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano RM N° 591-2008/MINSA NTS N° 071-MINSA/DIGESA ítem 1. Leche y productos lácteos.