

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BIOGÁS Y BIOL
PRODUCIDO EN BIODIGESTORES USANDO EXCRETAS DE
ANIMALES DEL PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA**

Presentado por:

BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2016

Esta tesis dedico a mis padres y hermanos pues ellos siempre fueron el motivo de seguir dando lo mejor de mí, sobretodo reconociendo al Creador, quien fue mi guía y mi soporte en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mis hermanos por su apoyo durante la ejecución de la presente investigación, quienes me fortalecieron anímicamente para continuar y culminar la presente tesis.

A mis amigos Paul y Marleni por su apoyo en momentos críticos quienes fueron y son más que hermanos, quienes me aconsejaron y animaron para culminar la investigación.

Al Ingeniero Lawrence Quipuzco, asesor de la presente tesis y docente del Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología, por su constante asesoría y consejos brindados desde inicios de la investigación.

Al Dr. Meza quien me asesoró y facilitó los Microorganismos Benéficos, para realizar la investigación con el pre-tratamiento tipo MB-Bokashi.

Al técnico del laboratorio de Ingeniería Ambiental, el Sr. Edgar Giraldo, quien me asesoró y apoyó para poder realizar los análisis de excretas y aguas.

A la Blga. Lissette Bermúdez, jefa del área de Fauna del Parque Zoológico de Huachipa, por permitirme realizar la investigación dentro del zoológico y darme las facilidades para poder caracterizar y recoger las muestras.

Al personal de cuidado del Parque Zoológico de Huachipa, quienes amablemente apoyaron la presente investigación durante la caracterización y recojo de los restos de excretas.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	PARQUE ZOOLOGICO.....	3
2.2	PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA.....	5
2.3	ESTIERCOL	6
2.4	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ESTIERCOL	6
2.5	BOKASHI.....	7
2.5.1	BOKASHI TRADICIONAL.....	7
2.5.2	BOKASHI CON MICROORGANISMOS BENÉFICOS (MB-BOKASHI).....	8
2.5.3	MICROOGANISMOS BENÉFICOS (MB)	9
2.5.4	CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES MICROORGANISMOS PRESENTES.....	11
2.6	BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	12
2.7	MICROBIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	13
2.8	PARÁMETROS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA	16
2.8.1	TEMPERATURA.....	17
2.8.2	ACIDEZ	18
2.8.3	CONTENIDO DE SÓLIDOS	19
2.8.4	NUTRIENTES	19
2.8.5	INHIBIDORES	20
2.8.6	RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO.....	21
2.8.7	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	21
2.8.8	CARGA ORGÁNICA.....	22
2.9	BIODIGESTOR	22
2.9.1	SEGÚN MÉTODO DE CARGA	22
2.9.2	SEGÚN EL SISTEMA DE RETENCIÓN DE BIOMASA	23
2.9.3	SEGÚN MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MEDIO RURAL	30

2.10	BIOFERTILIZANTE	30
2.10.1	BIOFERTILIZANTE EN FORMA LÍQUIDA (BIOL)	31
2.10.2	BIOFERTILIZANTE EN FORMA SÓLIDA (BIOSOL)	33
2.11	BIOGÁS	35
2.11.1	CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS	36
2.11.2	USOS DEL BIOGÁS	39
2.11.3	MÉTODO PARA LA CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL BIOGÁS	40
2.11.4	METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BIOGÁS Y METANO EN LABORATORIO – POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)	43
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1	CARACTERIZACIÓN	47
3.1.1	RESTOS DE EXCRETAS	47
3.1.2	ALIMENTACIÓN	48
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR (PROTOTIPO DE BIODIGESTOR)	49
3.3	ANÁLISIS DE LOS RESTOS DE EXCRETAS y AGUA	53
3.3.1	ANÁLISIS DE LOS RESTOS DE LAS EXCRETAS	53
3.3.2	ANÁLISIS DEL AGUA DEL POZO	57
3.4	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	59
3.5	ELABORACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS	61
3.6	PRETRATAMIENTO TIPO ABONO BOKASHI	62
3.7	CARGA DE LOS BIODIGESTORES	64
3.7.1	CÁLCULO DE LA CARGA DE LOS BIODIGESTORES	64
3.7.2	CARGADO DE LOS BIODIGESTORES	66
3.8	LEVANTAMIENTO DE LOS DATOS Y TOMA DE MUESTRAS	70
3.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	72
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	74
4.1	CARACTERIZACIÓN	74
4.1.1	DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE RESIDUOS EN EL PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA	75
4.1.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS EXCRETAS	80

4.1.3	TIPO DE ALIMENTACIÓN	83
4.2	RESULTADOS DEL VOLUMEN DE BIOGÁS Y METANO	90
4.2.1	COMPORTAMIENTO DEL PH Y LA TEMPERATURA.....	91
4.2.2	VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO	91
4.2.3	VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO	96
4.2.4	CALIDAD DEL BIOGÁS	99
4.2.5	RENDIMIENTO DE LAS PRODUCCIONES DE METANO Y BIOGÁS.....	103
4.3	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL BIOL	108
4.3.1	COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA DEL BIOL	109
4.3.2	COMPOSICION QUÍMICA DEL BIOL.....	111
V.	CONCLUSIONES	114
VI.	RECOMENDACIONES	117
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	119
VIII.	ANEXOS.....	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores y características del estiércol	7
Tabla 2: Comparación de la composición de principales microorganismos benéficos.....	12
Tabla 3: Composición de nutrientes de biofertilizantes a partir del estiércol de vaca y residuos vegetales	31
Tabla 4: Composición bioquímica del biol	32
Tabla 5: Composición de micro y macronutriente, y compuestos reguladores de crecimiento del biol	32
Tabla 6: Características generales del fertilizante sólido del estiércol de vacuno.....	34
Tabla 7: Componentes principales del biogás	35
Tabla 8: Componentes del biogás en función del substrato utilizado	36
Tabla 9: Biogás producido en función de los sólidos volátiles	36
Tabla 10: Características del biogás	37
Tabla 11: Componentes tóxicos más comunes en el biogás y sus efectos	38
Tabla 12: Resultado del análisis de los residuos de las excretas	56
Tabla 13: Resultado del análisis del agua de pozo	58
Tabla 14: Resultado del pesaje de la caracterización de los residuos de excretas.....	82
Tabla 15: Tipo y cantidad total de ración de los animales del área de la granja propiamente dicha.....	85
Tabla 16: Tipo y cantidad de ración de los animales de las áreas de los camélidos americanos	86
Tabla 17: Tipo y cantidad de ración de los animales de la zona africana	87
Tabla 18: Tipo y cantidad de ración diaria de los felinos.....	88
Tabla 19: Tipo y cantidad de ración diaria de los osos	89
Tabla 20: Tipo y cantidad de ración diaria de los animales de la zona la sabana	90
Tabla 21: Volumen promedio semanal de metano	92
Tabla 22: Volumen promedio semanal de biogás	96
Tabla 23: Calidad de biogás en función de la producción de metano promedio semanal y acumulado	100
Tabla 24: Rendimiento de la producción de metano	103
Tabla 25: Rendimiento de la producción de biogás	103
Tabla 26: Comparación de rendimiento de producción de metano con inóculo y sin inóculo	105

Tabla 27: Comparación del rendimiento de biogás	106
Tabla 28: Producción potencial de metano en base a la producción anual de excretas	107
Tabla 29: Energía disponible en función de la producción anual de metano	108
Tabla 30: Resultado de la remoción de Coliformes totales y fecales	109
Tabla 31: Comparación de la calidad microbiológica del biol con otras investigaciones.	110
Tabla 32: Composición química del biol.....	111
Tabla 33: Comparación de la calidad química del biol con otras investigaciones	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de las transformaciones bioquímicas durante el proceso de digestión anaeróbica de materia orgánica.....	13
Figura 2: Influencia de la temperatura sobre la razón máxima de crecimiento de microorganismos (μ máx).....	18
Figura 3: Rangos estables para el pH y la alcalinidad durante el proceso de digestión anaeróbica.....	19
Figura 4: Esquema de reactores de mezcla completa sin y con recirculación.....	24
Figura 5: Tipos de filtros anaeróbicos	25
Figura 6: Representación esquemática de un RLE y RLF.....	27
Figura 7: Representación esquemática de un reactor tipo UASB y reactor tipo EGSB	29
Figura 8: Instalación experimental simplificada para determinar el Potencial bioquímico de Metano (BMP).....	45
Figura 9: Instalación experimental simplificada para determinar el potencial del biogás ..	46
Figura 10: Construcción del sistema de medición de biogás y metano.....	52
Figura 11: Prueba hermética del reactor en el sistema de medición de biogás	53
Figura 12: Homogenización y selección de muestras	60
Figura 13: Aplicación de los Microorganismos Benéficos a las muestras	63
Figura 14: Preparación de las muestras para cargar en el reactor	68
Figura 15: Cargado de los reactores dentro del baño maría y el armado para la medición de metano y biogás	69
Figura 16: Recolección de muestras de biol.....	72
Figura 17: Generación y recojo de los residuos de excretas en la zona la granja	76
Figura 18: Generación y recojo de los residuos de excretas en la zona felinario, africana y sabana	76
Figura 19: Transporte interno en el Parque Zoológico de Huachipa.....	77
Figura 20: Áreas de almacenamiento	79
Figura 21: Diferentes formas de tratamiento dentro del Parque Zoológico de Huachipa ...	80
Figura 22: Actividades de caracterización de restos de excretas dentro del Parque Zoológico de Huachipa.....	81
Figura 23: Área de cocina del Parque Zoológico de Huachipa	84
Figura 24: Áreas de almacén del heno.....	84
Figura 25: Volumen promedio semanal de metano a CN	93

Figura 26: Volumen diario acumulado de metano a CN	95
Figura 27: Volumen promedio semanal de biogás a CN.....	97
Figura 28: Volumen acumulado diario de biogás a CN	99
Figura 29: Calidad de biogás (%CH ₄) en base al volumen promedio semanal de metano	101
Figura 30: Calidad de biogás en función del volumen diario acumulado de metano (%CH ₄)	102

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Volumen de metano producido a Condiciones Normales (CN).....	127
ANEXO 2: Volumen promedio diario de metano analizados semanalmente	128
ANEXO 3: Volumen de biogás producido.....	129
ANEXO 4: Volumen promedio diario de biogás analizados semanalmente.....	130
ANEXO 5: Calidad del biogás en función al volumen acumulados de metano (%CH ₄)..	131
ANEXO 6: Calidad del biogás en función al volumen promedio y acumulado semanal de metano	132
ANEXO 7: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de la producción de metano.....	133
ANEXO 8: Prueba de Tukey para los resultados de la producción de metano	135
ANEXO 9: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados de la producción de biogás	137
ANEXO 10: Prueba de Tukey para los resultados de la producción de biogás	139
ANEXO 11: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados de la calidad de biogás – porcentaje de metano (%CH ₄)	141
ANEXO 12: Prueba de Tukey para los resultados de la calidad de biogás – porcentaje de metano (%CH ₄)	143
ANEXO 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados del análisis de nutrientes del biol	145
ANEXO 14: Prueba de Tukey para los resultados del análisis de nutrientes del biol	146
ANEXO 15: Figura de la tabla de entalpías de diferentes sustancias gaseosas y líquidas	148
ANEXO 16: Resultado del análisis de %C, %N y relación C/N de las muestras	149
ANEXO 17: Resultados del análisis Físico-químico del agua de pozo del Parque Zoológico de Huachipa.....	150
ANEXO 18: Resultados del análisis microbiológico del biol antes del proceso de fermentación del tratamiento 1, 2 y 3	151
ANEXO 19: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 1	153

ANEXO 20: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 2	155
ANEXO 21: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 3	157
ANEXO 20: Resultados del análisis de macronutrientes y materia orgánica del biol al final del proceso de fermentación de los tres tratamientos.....	159

RESUMEN

La presente investigación titulada: “Análisis de la calidad de biogás y biol producidos en biodigestores usando excretas de animales del Parque Zoológico de Huachipa” surge como una alternativa de tratamiento de gestión de los residuos generados por los animales dentro de las áreas de esparcimiento y dormitorios.

La presente tesis realiza tres etapas bien marcadas: la primera es la caracterización de los restos de las excretas, donde los animales se dividen en cuatro zonas: zona de granja, zona africana, zona felinario y zona de sabana, produciendo 56.75 kg, 31.39 kg, 20.82 kg y 29.86 kg de restos para cada zona respectivamente; en la segunda etapa se produce la fermentación anaeróbica empleándose reactores que simulan biodigestores tipo batch donde se mide diariamente los volúmenes de metano y biogás, en esta etapa se trabajó con tres tratamientos que previamente fueron pre-tratados como tipo abono Bokashi con microorganismo benéficos, los cuales actúan eliminando el mal olor y haciendo más eficiente el pre-tratamiento: Tratamiento 1 contenía una muestra homogénea de las mezclas de residuos de las zonas africana, sabana y felinario, Tratamiento 2 contenía muestra de la zona de granja; y el Tratamiento 3 contenía todas las mezclas de los tratamientos anteriores. Finalmente en la tercera etapa se hace un análisis de la calidad del biol (fertilizante líquido) que se evacúan al final del proceso de fermentación anaeróbica de cada uno de los tratamientos.

El tratamiento 2 es el que obtuvo significativamente mayor volumen de biogás (2115.82 ml) y metano (688.66 ml) en comparación a los tratamientos 1 (1468.72 ml biogás y 461.92 ml metano) y tratamiento 3 (1453.24 ml biogás y 446.39 ml metano); sin embargo el mejor rendimiento lo obtuvo este último ($0.0204 \text{ m}^3/\text{kg SV}$). La calidad de biogás fueron similares al final de proceso, lográndose 32.55% 31.45% y 30.72% de metano para los tratamientos 2, 1 y 3 respectivamente.

Respecto a los fertilizantes líquidos, bioles, encontramos una mayor concentración de macronutrientes y un relativo menor número de organismos patógenos (Coliformes totales y fecales) en el biol del tratamiento 2, por lo que se considera de mejor calidad.

Palabras Claves: Restos de excreta, Abono Bokashi, biodigestor, biogás, biol.

SUMMARY

This research entitled "Analysis of the quality of biogas and biol produced in anaerobic reactor using animal manure from Parque Zoológico Huachipa" emerges as an alternative treatment for the management of waste generated by the animals within the recreational and sleeping areas.

This thesis carry out three stages well marked: the first is the characterization of the waste of manure, where the animals are divided into four zones: farm zone, african zone, cats zone and savannah zone, producing 56.75 kg, 31.39 kg , 20.82 kg and 29.86 kg respectively for each zone, in the second stage occurs the anaerobic fermentation into reactors which simulate digesters batch type which the volume of methane and biogas is measured daily, at this stage we worked with three treatments that previously were pre-treated as a bokashi compost with Effective Microorganisms, which act eliminating odour and making more efficient the pre-treatment: Treatment 1 contained a homogeneous sample of mixtures of wastes from African, savannah, and cats zones, Treatment 2 contained sample of the farm zone and Treatment 3 contained all mixtures of the previous treatments, and finally the third stage is characterized by quality analysis of biol (liquid fertilizer) that are discharged at the end of the anaerobic fermentation process of each of the treatments.

Treatment 2 got significantly greater volume of biogas (2115.82 ml) and methane (688.66 ml) than treatment 1 (1468.72 ml biogas and 461.92 ml methane) and Treatment 3 (1453.24 ml biogas and 446.39 ml methane); however the best yield was obtained by Treatment 3 (0.0204 m³/kg). The gas quality were similar at the end of process, achieving 32.55%, 31.45% and 30.72% methane for treatments 2, 1 and 3 respectively.

Regarding liquid fertilizers, biol, Treatment 2 got a higher concentration of macronutrients and fewer pathogens (Total coliforms and fecal coliforms) than others, making the biol from Treatment 2 as highest quality.

Keywords: anaerobic digester, biogas, bokashi, manure, organic fertilizer.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas el uso de los combustibles fósiles ha incrementado significativamente la emisión de gases que generan el denominado efecto invernadero. Por otra parte, millones de toneladas de desechos orgánicos biodegradables son generados cada año por los sectores agropecuarios, municipales e industriales en todo el mundo, de los cuales un gran porcentaje son finalmente dispuestos en rellenos sanitarios (Cendales, 2011) y otros son simplemente arrojadas a ríos o abandonados en lugares cercanos a los ciudad.

Desde el siglo pasado en China e India se están utilizando los procesos fermentativos para producir el biogás y tratar ecológicamente las excretas de animales dentro de biodigestores. La digestión anaerobia definida como la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, es utilizada para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos, incluido dióxido de carbono (Kiely, 1999 citado por Cárdenas, 2012)

El biogás puede ser generado a partir de desechos agrícolas (granjas, establos), pues la materia prima para su producción se encuentra disponible todas las temporadas del año, además de que no se necesitan campos de cultivos o espacios esencialmente grandes para su producción (Gutiérrez et al. 2012). Los establecimientos con capacidad de generar la materia prima para la producción de biogás (excretas de animales y residuos domésticos) pueden ser granjas, criaderos, parques zoológicos y otros similares.

El hábitat de un zoológico es complejo, con una variedad de áreas naturales artificiales designadas, caracterizados por el alto consumo de energía y recursos lo cual contradice la misión de conservación de la biodiversidad y la protección de recursos, investigación y educación. Según WAZA (2010) citado por Kusch (2012) anualmente 700 millones de personas visitan un zoológico o acuario. Para poder mejorar esta situación es importante tener un manejo sostenible de los aspectos ambientales, así como la educación adecuada a los visitantes con experiencias visuales y emocionales para acercarlos más de cerca a la comprensión de los principios de sostenibilidad (Kusch, 2012).

Los zoológicos pueden afectar tanto de manera positiva como negativa al medio ambiente, por tanto deben tomar en consideración los diversos aspectos ambientales con impacto negativo que se generan como resultado de su funcionamiento. Entre los más importantes cabe mencionar el gran consumo de agua, energía y combustible; generación de muchos residuos sólidos domésticos y de animales, producción de metano y CO₂ de la excretas de los animales y efluentes (Montalván, 2010).

Ante esta problemática se presenta una alternativa de tratamiento eficiente, el cual es la fermentación anaeróbica con pre-tratamiento tipo abono bokashi con Microorganismos Benéficos para reducir el mal olor, previo a evacuar directamente al biodigestor, donde los residuos de estiércol producen biogás, los cuales pueden ser aprovechados para la cocina o para alumbrado dentro del Parque Zoológico de Huachipa; el líquido y el lodo residual que se produce se aprovecha como fertilizantes para abonar las áreas verdes; finalmente el biodigestor que se construya dentro del establecimiento serían parte de un recorrido turístico/educativo de manejo sostenible de restos producidos en el zoológico.

En la presente investigación se trabajó con animales de cuatro zonas previamente diagnosticadas dentro del parque zoológico, quienes producían mayor volumen de estiércol, estas son: zona la granja, zona africana, zona felinario y zona sabana.

Los objetivos específicos que se trabajó en la presente investigación son:

- Caracterizar físicamente las excretas de los animales del zoológico.
- Medición de la cantidad de metano y biogás producidos en biodigestores tipo batch a escala de laboratorio.
- Evaluar la calidad de biogás en función del volumen de metano producido.
- Analizar la composición de macronutrientes y la reducción de microorganismos patógenos presentes en el biol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PARQUE ZOOLOGICO

Son instalaciones públicas o privadas que se establecen con fines de difusión cultural, con especímenes provenientes de donaciones, adquisiciones, canjes o aquellos entregados en custodia por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). Es decir es un conjunto de ambientes especialmente acondicionados para el mantenimiento y reproducción de especímenes de fauna silvestre, con fines de difusión cultural, educación y/o investigación (Ley 27308, Ley Forestal y de Fauna Silvestre).

La ley española define a los parques zoológicos dentro de la Ley 31/2003 de Conservación de la fauna silvestre en los parques zoológicos, el cual incorpora una norma internacional europea, Directiva 1999/22/CE relativa al mantenimiento de animales salvajes en los parques zoológicos, esta última regula la actividad de los parques zoológicos en el marco de la conservación de la biodiversidad biológica, cuyos fundamentos se encuentran en los acuerdos internacionales y disposiciones comunitarias sobre la conservación de la biodiversidad y la protección de la fauna Silvestre (Guía para la aplicación de la Ley 31/2003).

La ley indica que los parques zoológicos deben ser una fuente de conocimientos científicos que esté a disposición de universidades, de instituciones dedicadas a la investigación y de organizaciones comprometidas con la conservación de la naturaleza, a fin de que estas entidades puedan contribuir no sólo a la conservación «ex situ» de las especies silvestres, sino también a su conservación «in situ» a medida que sus hábitats se van reduciendo y su distribución geográfica se va haciendo más fragmentada.

Además, la ley 31/2003 define a los Parques zoológicos como establecimientos, públicos o privados, que, con independencia de los días en que estén abiertos al público, tengan carácter permanente y mantengan animales vivos de especies silvestres para su exposición.

La guía para la aplicación de la Ley 31/2003 hace mención a la Asociación Mundial de Zoos y Acuarios (WAZA) quien publicó en 1993 un documento llamado Estrategia Mundial para la Conservación como respuesta a un momento de grandes cambios impulsados por la llamada “Cumbre de la Tierra”, Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992. Su publicación supuso para los zoos y acuarios de todo el mundo disponer por primera vez de un documento que recogiese un conjunto de objetivos y prácticas comunes para actuar todos en una misma dirección y lograr de este modo cumplir eficazmente su papel en la conservación de la biodiversidad. En 2005 el documento se revisó y actualizó, publicándose la Estrategia Mundial de los Zoos y Acuarios para la Conservación, que en la línea iniciada por la primera edición, introduce a las instituciones ex situ en la de la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible.

En la Estrategia Mundial de los Zoos y Acuarios para la Conservación se definen las características principales que debe tener un parque zoológico moderno:

- Los zoos y acuarios modernos tienen como principal objetivo la conservación, es decir, la protección y mantenimiento a largo plazo de las poblaciones de especies en los hábitats y ecosistemas naturales.
- La educación es parte fundamental de su razón de ser. Disponen de una política educativa definida, promueven programas educativos para el público y actividades recreativas culturales, y participan activamente en programas de educación ambiental de ámbito local y global cooperando con otras instituciones educativas (escuelas, universidades, centros de formación, etc.).
- Dedicar importantes esfuerzos a la investigación (temas veterinarios, dietas, comportamiento social de los animales), incorporan avances tecnológicos (uso de bases de datos, nuevas técnicas de comunicación) y participan en programas de cría globales.
- Son instituciones tecnológicamente avanzadas y eficientes, que tienden a poner en práctica medidas para la sostenibilidad global del medio ambiente.
- Ofrecen instalaciones innovadoras, atractivas y sugerentes para el público, y que al mismo tiempo proporcionan el mayor bienestar posible a los animales que albergan y un hábitat adecuado a sus necesidades.

- Actúan de forma conjunta y en equipo. Mediante la pertenencia a asociaciones zoológicas de ámbito local o regional, trabajan de manera coordinada con las diferentes Administraciones Públicas en temas relativos al medio ambiente.
- Cooperan con otros organismos e instituciones, vinculando sus actividades a estrategias de conservación global (conservación ex situ - proyectos de conservación in situ), tratando de optimizar el uso de los recursos limitados.
- Sus actividades se encuadran dentro de un marco ético y legal. Cumplen con la legislación vigente, actúan conforme a las regulaciones que afectan a la conservación y el bienestar animal (disposición de animales, transferencia de animales, transporte, aspectos veterinarios, programas de reintroducción, etc.), y con los estándares y códigos éticos de las asociaciones a las que pertenecen.
- Son centros de formación cualificados, disponen de personal experto con importantes conocimientos técnicos y experiencia en temas como la cría, la recuperación de especies o el bienestar animal.

2.2 PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA

El Parque Zoológico Huachipa (PZH) es una institución cultural y unidad de conservación de fauna y flora silvestre, que se localiza en el distrito de Ate Vitarte, en el margen izquierdo del río Rímac.

En el Perú, son pocas las instituciones con características como la del Parque Zoológico de Huachipa, que permiten el estudio de las especies silvestres ex situ. La colección zoológica ha reunido diferentes especies de flora y fauna del Perú, y su principal objetivo es promover acciones a favor de la conservación de la naturaleza y su biodiversidad.

El Parque Zoológico Huachipa posee una colección aproximada de 1000 especímenes, representado por más de 300 especies, encontrándose tanto fauna autóctona como fauna representativa de otras partes del mundo. Además, es un miembro acreditado de la Asociación Latinoamericana de Parques Zoológicos y Acuarios (ALPZA), World Association of Zoos and Aquariums (WAZA) y de International Species Information System (ISIS).

2.3 ESTIERCOL

El estiércol es un sustrato complejo, el cual presenta considerables contenidos de materiales orgánicos disueltos y particulados, dentro de los que se incluyen polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos grasos volátiles (AGV), además de un conjunto de compuestos inorgánicos. Este sustrato es reconocido como una excelente base para el desarrollo del proceso de digestión anaeróbica debido que presenta una alta capacidad tamponadora (resistencia a cambiar su pH frente a adiciones ácidas o básicas) y un gran contenido de nutrientes necesarios para el desarrollo de las poblaciones anaeróbicas (Eastman y Ferguson, citado por Cendales, 2011).

Los nutrientes de los alimentos al ser digeridos y absorbidos por los animales, son utilizados por estos para su mantenimiento y reproducción; no obstante, una parte de los nutrientes no son aprovechados y son excretados en la heces y la orina (Gonzales y Ramírez, citado por SEGARPA, 2011). Las excretas son un subproducto de desecho en las unidades de producción lechera. La baja eficiencia de uso de nutrientes por parte de los animales hace que el estiércol y la orina contengan cantidades importantes de nitrógeno (N), fósforo (P) y otros nutrientes. Cuando el estiércol no se maneja adecuadamente, los nutrientes en exceso contaminan el ambiente.

2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ESTIERCOL

Para la caracterización del estiércol se toma en cuenta el sustento teórico de la guía para la caracterización de residuos sólidos domiciliarios del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente (CEPIS, 2004), con el fin de poder determinar la cantidad de residuos y estiércol que se generan dentro del Parque Zoológico.

La caracterización del tipo de excretas se realiza en base a dos aspectos (Téllez, 2008):

- La cantidad de forraje ingerido y la digestibilidad, por ejemplo una vaca lechera de buen nivel productivo entre 28 – 30 litros/día, genera unos 40 – 60 kg/día de estiércol (Biava, 1988)
- La calidad del forraje y el peso medio de los animales.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de valores y características del estiércol de diferentes animales.

Tabla 1: Valores y características del estiércol

Clase de animal	porcentaje (%) por peso vivo		Porcentaje (%) del material de digestión		Relación C/N	P - Producción de biogás (m3 de gas/kg SO)
	PE - Estiércol	PO - Orina	% ST Sólidos T.	%SO Sólidos Orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0.25
Cerdos	2	3	16	12	13	0.35
Caprinos, ovejas	3	1.5	30	20	30	0.2
Caballos	5	4	25	15	20	0.25
Avícolas, gallinas	4.5	4.5	25	17	5-8	0.4
Humanos	1	2	20	15	8	0.3

Fuente: GTZ, citado por Téllez, 2008

2.5 BOKASHI

2.5.1 BOKASHI TRADICIONAL

Bokashi, originalmente creado en Japón, es un producto natural y orgánico para el mejoramiento del suelo. Es un fertilizante orgánico que ha sido fermentado, y que contiene una mezcla de nutrientes y microorganismos locales (Jensen et al. citado por Mollat, 2014).

La tecnología de producción de bokashi, llamado así por los japoneses al abono orgánico fermentado, es una tecnología que ellos desarrollaron haciendo inoculaciones de los materiales a descomponer con microorganismos existentes en el suelo y cuidadosamente seleccionados por sus propiedades sinérgicas que ayudan a descomponer eficientemente los materiales y en un periodo de tiempo menor, presentando ventajas adicionales como eliminación de malos olores y disminución en la proliferación de insectos vectores de enfermedades como las moscas, menor producción de gases irritantes como el amoníaco que se desprende a altas temperaturas durante el proceso de fermentación (Higa, citado por Barre 2003).

Tradicionalmente para la preparación del Bokashi, los agricultores japoneses usaron materia orgánica como semolina de arroz, torta de soya, harina de pescado y suelo de los bosques como inoculantes de microorganismos benéficos que aceleran la preparación del abono. Estos suelos contienen varios microorganismos benéficos que aceleran la preparación del abono. El bokashi ha sido utilizado por los agricultores japoneses como un mejorador que aumenta la

diversidad microbiana, mejora las condiciones físicas y químicas, previene enfermedades del suelo y lo suple de nutrientes para el desarrollo de los cultivos (EARTH, 2000).

2.5.2 BOKASHI CON MICROORGANISMOS BENÉFICOS (MB-BOKASHI)

El MB-Bokashi es un abono orgánico tipo Bokashi, donde se usan Microorganismos Benéficos (MB) como inoculante microbiano en lugar de suelo del bosque. Los MB mejoran la calidad del Bokashi y facilita la preparación de éste usando toda clase de desechos orgánicos. El MB-Bokashi se puede preparar de forma aeróbico o anaeróbico, dependiendo de los materiales y de las necesidades de cada situación en particular (EARTH, 2000).

Según Kyan et al. (1999) el bokashi preparado en condiciones normales, pueden ser clasificados como aeróbicos o anaeróbicos en base al proceso de elaboración. Las ventajas y desventajas son los que se mencionan a continuación.

- El bokashi aeróbico tiene las ventajas de producirse a mayor escala, debido a que su elaboración es en condiciones abiertas, las temperaturas son muy altas. Además los valores nutritivos de la materia orgánica se mantienen como en un ensilado. Sin embargo, si las temperaturas no son controladas durante el proceso de compostaje con MB, se perderá la energía de la materia orgánica y el mal manejo conlleva a una rápida putrefacción.
- El bokashi anaeróbico debido a que requiere condiciones anaeróbicas, la elaboración de este bokashi es muy dificultoso. Sin embargo, si se ejecuta el procedimiento de forma correcta y cuidadosa, la calidad es muy superior al del bokashi aeróbico, lo cual mejorará significativamente el crecimiento de las plantas.

En general, el MB-Bokashi supone reducir la presencia de patógenos en los residuos de alimentos al competir con ellos. Por ejemplo, las bacterias del ácido láctico presentes en MB-Bokashi han sido demostrado que inhibe el crecimiento de bacterias nocivas tales como E. coli y Salmonella que se clasifican como bacterias gram negativas (Barnes y Burt citado por Mollat, 2014).

Los MB no deben considerarse como un funguicida, pues es una medida biológica para suprimir o controlar patógenos, a través del incremento de la competencia y antagonismo (Kyan et al. 1999).

2.5.3 MICROORGANISMOS BENÉFICOS (MB)

Los Microorganismos Efectivos o Benéficos (MB) consiste en un cultivo mixto de microorganismos benéficos de ocurrencia natural que pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de los suelos y plantas.

El concepto de Microorganismos Efectivos o Benéficos (MB) fue desarrollado por el Dr. Teruo Higa de la Universidad de Ryukyu de Japón en los años 1980, después de realizar investigaciones sobre cómo superar los peligros del cultivo continuo y mantener la calidad de los productos hortícolas. Por esta razón desde los años 1970, basándose en el significado histórico de los microorganismos en la agricultura japonesa, experimentó con cultivos mixtos de microorganismos sin obtener resultados planeados por un periodo de 10 años. De cualquier manera, en 1982, la tecnología fue desarrollada y la solución original contuvo alrededor de 5 familias, 10 géneros y 80 especies de microorganismos como bacterias fotosintéticas, ácido lácticas, levaduras, actinomicetes y hongos fermentativos. Esta mezcla desarrollada por el Dr. Higa se basa en contener microorganismos a pH muy bajos en los cuales muchos microorganismos indeseables mueren. Estos tienen un rango diverso de usos en agricultura, manejo ambiental y en la industria (Higa, citado por Barre, 2003). Los MB fueron desarrollados como un inoculante microbiano para aumentar los microorganismos benéficos y la diversidad microbiana del suelo.

En la actualidad en Japón se pueden conseguir varios libros que informan cómo coleccionar y cultivar los microorganismos benéficos en la finca. Además, es posible comprar muchos preparados microbianos como inóculo para producir bokashi, como el Coran, Bimfood, VS-kin, Cofuna, EM, Nu-Soil, etc. (EARTH, 2000). Por ejemplo el EM es una solución que contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos, los cuales tienen diferentes funciones. Estos microorganismos existen en todos los ecosistemas naturales y son usados para el procesamiento de alimentos y de comida animal fermentada.

Son totalmente seguros para los seres humanos y animales (Higa, 1995. 1996 citado por EARTH, 2000).

Según Barnes y Burt (citado por Mollat, 2014), la mezcla de los microbios que contiene Bokashi incluye:

a) Levaduras (*Saccharomyces* y *Candida spp spp.*)

Las levaduras se pueden clasificar como una especie de hongos que son capaces de crecer tanto en presencia o ausencia de oxígeno (condiciones aeróbicas o anaeróbicas). En situaciones anaerobios, las levaduras fermentan azúcar en etanol (Madigan et al. 2000).

b) Bacterias del ácido láctico (*Streptococcus spp.* y *Lactobacillus spp.*)

Las bacterias lácticas producen ácido láctico como producto principal de la fermentación, y también pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno. Estos microbios son capaces de crecer con éxito en condiciones ácidas con valores bajos de pH de alrededor de 4 (Madigan et al, 2000; en Barnes & Burt, 2009). La producción de ácido láctico en las primeras etapas de la fermentación suprime el crecimiento de bacterias de putrefacción, así como mejora la disponibilidad de compuestos inorgánicos (Sung Cheol, K., Young-Chae, S. & In-Soo, K., n.d.).

c) Bacterias fotosintéticas (*Rhodobacter spp* y *Rhodopseudomonas spp.*)

Las bacterias fotosintéticas se clasifican como bacterias púrpura no-azufradas. Se producen de forma natural y más pueden crecer aeróbicamente través de la respiración. Algunas de estas bacterias crecen anaeróbicamente y en la oscuridad, donde operan utilizando métodos respiratorios fermentativos. También pueden utilizar la luz como fuente de energía (Barnes & Burt, 2009).

Son microorganismos que pueden fijar nitrógeno y el bióxido de carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y azúcares simples que constituyen los elementos básicos

de las proteínas y los carbohidratos. También sintetizan sustancias bioactivas tales como vitaminas, hormonas y enzimas. Estas bacterias proporcionan substratos y factores de crecimiento para otros microorganismos y estos a su vez proporcionan ciertos factores para las otras bacterias. A su vez estos organismos reducen el mal olor y la producción de sustancias tóxicas durante la descomposición de la materia orgánica. Este tipo de bacterias se auto mantienen, a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases sulfhídricos. Los aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, producidos por las bacterias fotosintéticas incrementan su desarrollo y a la vez el desarrollo de otros microorganismos, como las micorrizas, debido a que facilitan compuestos nitrogenados (Okumoto y Cascante, 1996 citado por Barre, 2003).

d) Actinomicetos

Son bacterias que tienen filamentos y se parecen a los hongos, estos microbios sólo son capaces de funcionar en condiciones aeróbicas, y se ven como blancas estructuras “tipo moho”. Se conoce comúnmente por tener características antibióticas. Los actinomicetos en MB son capaces de luchar contra algunos tipos de bacterias gram-negativas, que incluyen patógenos como *E. coli* (Barnes & Burt, 2009).

Los estudios realizados por Higa y Parr, citados por Mollat (2014) han indicado que la inoculación de cultivos de Microorganismos benéficos (MB) en los ecosistemas de las plantas y del suelo puede tener una serie de beneficios, tales como:

- La mejora de la salud del suelo.
- Aumentar el crecimiento, la calidad y el rendimiento de los cultivos; y
- Mejora de la calidad del suelo.

2.5.4 CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES MICROORGANISMOS PRESENTES

Según Cárdenas, 2012 se han encontrado diferentes concentraciones de los principales microorganismos presentes en el cultivo de microorganismos benéficos, en la Tabla 2 se

hace una comparación entre investigaciones de Hoyos et al., 2008 y Cárdenas, 2012 y los productos comerciales.

Tabla 2: Comparación de la composición de principales microorganismos benéficos

Constituyentes	Investigaciones		Productos comerciales				
	Hoyos et al., 2008 (UFC/ml)	Cárdenas, 2012 (UFC/ml)	EM-Crop (UFC/ml)	EM-1 (UFC/ml)	EM-Integral Plus® (UFC/ml)	EM® (UFC/ml)	Em-Integrado (UFC/ml)
Bacterias lácticas	1x10 ³	6,6x10 ⁶	1x10 ⁶	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁴
Bacterias fototrópicas	1x10 ³	-	1x10 ⁶	1x10 ⁶	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁴
Levaduras	1x10 ³	-	1x10 ⁶	1x10 ³	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁴

Fuente: Cárdenas, 2012

Los productos comerciales se encuentran en estado de latencia, por tanto para activarlos se les debe propiciar el medio adecuado. Uno de los productos comerciales es el EM®-1, el cual es una solución madre, viene en forma líquida y contiene microorganismos útiles y seguros; para poder activarlo y sacar de su latencia, ahora ya denominado EM®-1 activado o EMa se mezcla el producto con agua de buena calidad y melaza en una proporción de 90% de agua, 5% de melaza y 5% del producto comercial, se debe procesar en un recipiente cerrado para ofrecer un ambiente anaeróbico y la solución estará finalizada cuando alcance un pH de 3,5. El EM activado nunca debe de ser reactivado porque puede causar contaminación en la mezcla y el balance microbiano es alterado como consecuencia la eficiencia del EM® se pierde (Higa y Parr, 1994 citado por Cárdenas, 2012).

2.6 BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

La fermentación o digestión anaerobia es un mecanismo de degradación de biomasa por el cual las moléculas orgánicas complejas son descompuestas en sus componentes energéticos individuales de forma espontánea (sin adición de energía) por la acción de microorganismos. El producto gaseoso de la fermentación se denomina biogás, y consiste fundamentalmente en una mezcla de metano y dióxido de carbono que puede destinarse a aplicaciones energéticas. El producto líquido o sólido remanente contiene los componentes difíciles de degradar junto con el nitrógeno, fósforo y otros elementos minerales presentes inicialmente en la biomasa (Jarabo, citado por Blanco, 2009). En la Figura 1 se puede apreciar un esquema general de

las diferentes transformaciones bioquímicas que ocurren dentro del proceso de digestión anaeróbica.

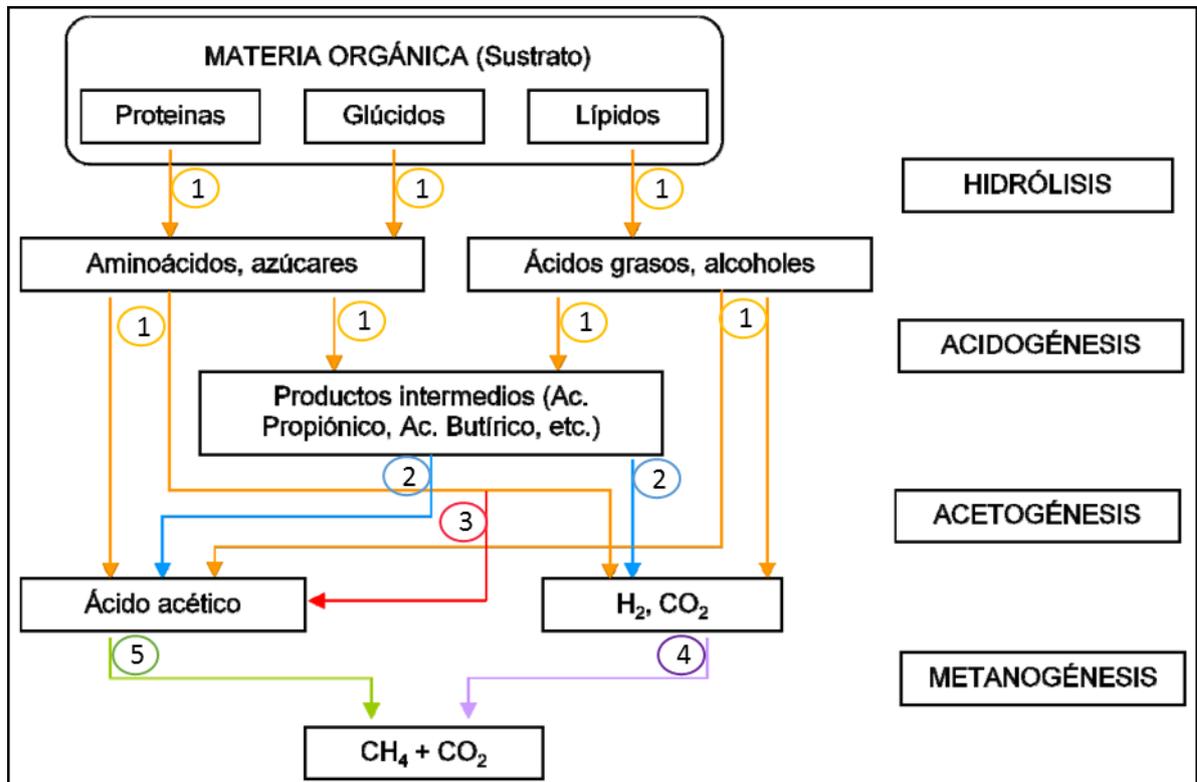


Figura 1: Esquema general de las transformaciones bioquímicas durante el proceso de digestión anaeróbica de materia orgánica

Fuente: Ocaña F, 2011

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso. *1: Bacterias hidrolíticas-acidogénicas. 2: Bacterias acetogénicas. 3: Bacterias homoacetogénicas. 4: Bacterias metanogénicas hidrogenófilas. 5, Bacterias metanogénicas acetoclásticas.*

2.7 MICROBIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA

El proceso anaeróbico ha sido estudiado con bastante profundidad desde el punto de vista bioquímico y microbiológico, con lo cual se han establecido dos fases principales constituidas por varios subprocesos mediante los cuales se desarrolla la transformación de las moléculas que conforman la materia orgánica biodegradable. Estas fases son la fase no metanogénica y la fase metanogénica, la clasificación de cada una de estas fases se realiza de acuerdo a las características que presentan los conjuntos de poblaciones de microorganismos que desarrollan los subprocesos que conforman cada fase, los cuales pueden ser tanto del tipo

facultativo como de naturaleza anaeróbica estricta (Prescott et al., 2002, citado por Cendales, 2011).

Para Khanal (2008), citado por Cendales (2011), la fase no metanogénica tiene lugar dos subprocesos que se realizan de forma simultánea; en primer lugar ocurre la hidrólisis de los carbohidratos, proteínas y lípidos. Seguidamente ocurre la fermentación (acidogénesis) de los metabolitos generados durante la hidrólisis; como producto de la fermentación se obtienen los ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono, los cuales son transformados posteriormente, dentro de los subprocesos de la fase metanogénica, en acetato (acetogénesis) y finalmente a metano.

a) Fase de Hidrólisis

La hidrólisis es una primera etapa que consiste en la degradación de los polímeros orgánicos complejos constituyentes de la biomasa, dando lugar a moléculas más simples fácilmente transportables al interior celular. La materia orgánica se encuentra normalmente en estado sólido y para que sea asimilable por los microorganismos, ha de ser atacada por enzimas extracelulares segregadas por los mismos y así ser disuelta por el agua que las rodea. Este proceso es desarrollado por las exo-enzimas liberadas por bacterias anaeróbicas facultativas pertenecientes a los géneros tales como *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Micrococcus*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium*, *Propionibacterium* (Jains et al, 1992 citado por Cendales, 2011).

La etapa hidrolítica es la etapa que limita la velocidad global del proceso, sobre todo en residuos con alto contenido de sólidos, puesto que se requiere que se desarrolle el ataque enzimático sobre el sustrato para que se liberen los compuestos orgánicos que las poblaciones microbianas pueden descomponer (Vavilin et al, 1996, citado por Cendales, 2011). Esta limitación puede ser reducida mediante la aplicación de pretratamientos fisicoquímicos los cuales permiten obtener un aumento de la velocidad de hidrolización. Dentro del conjunto de operaciones y procesos desarrollados para este fin se encuentran el pretratamiento mecánico del sustrato (trituration), ataque con ultrasonido, ataque químico (ácido o alcalino) y pretratamientos térmico o termoquímico (Palmowsky y Muller, 2000, citado por Blanco, 2009).

Las bacterias hidrolíticas son muy numerosas, se desarrollan espontáneamente en el medio cuando las condiciones son favorables, o bien pertenecen a la flora de la sustancia orgánica a digerir. La importancia de la presencia de estas bacterias radica en que, además de proporcionar sustrato para los grupos posteriores de bacterias, eliminan el oxígeno disuelto que pudiera quedar en la materia orgánica (Jarabo, 1999, citado por Blanco, 2009). Entre los principales componentes de la materia orgánica, sobre todo de los residuos ganaderos, se encuentran los materiales lignocelulósicos, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa. La lignina es un material altamente refractario a la degradación anaerobia, y su presencia afecta también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros polímeros, convirtiéndose su degradación en el proceso limitante de la velocidad de hidrólisis y por tanto, de la degradación anaerobia de determinados sustratos (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991; Veeken y Hamelers, 1999 citado por Blanco, 2009).

b) Fase fermentativa o acidogénica

La acidogénesis es la etapa en la cual las moléculas orgánicas solubles son catabolizadas por varios grupos de microorganismos generando compuestos tales como ácido acético, ácido fórmico, hidrogeno y dióxido de carbono, que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. De acuerdo a la ruta metabólica utilizada durante la fermentación también se pueden generar compuestos orgánicos más reducidos como ácido láctico, etanol, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico entre otros, los cuales deben ser oxidados por las bacterias acetogénicas en una etapa posterior antes de que puedan ser aprovechados por los microorganismos metanógenos (Prescot et al. 2002, Citado por Cendales, 2011). Según Blanco (2009) la cinética del proceso de esta fase acidogénica es relativamente rápida y el pH óptimo, bajo.

c) Fase Acetogénica

Los productos más reducidos de la fermentación necesitan ser transformados a través de las bacterias acetogénicas en productos más sencillos, como el acetato e hidrógeno, para ser metabolizados por los organismos metanogénicos. Los procesos acetogénicos son energéticamente difíciles, por lo que necesitan ser ayudados por los organismos metanogénicos u otros organismos consumidores de hidrógeno (Stams, 1994, citado por Blanco, 2009). Dentro de los microorganismos acetogénicos se encuentran Syntrophomonas

Wolfei, Syntrophobacter Wolini, Acetobacterium Woodii y Clostridium Aceticum (McCarty. P., citado por Cendales 2011).

d) Fase metanogénica:

Los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización (Madigan, citado por Blanco, 2009). Los microorganismos metanogénicos forman metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H₂, CO₂, formiato, metanol, y algunas metilaminas. Los microorganismos metanogénicos tienen una velocidad de reproducción que es muy baja, pudiéndose estimar que los tiempos de regeneración son diez veces superiores a los de las bacterias acidogénicas (Jarabo, citado por Blanco, 2009).

Se considera que aproximadamente el 70% del metano generado durante el proceso de digestión anaeróbica es producto de la metabolización del acetato por parte de los microorganismos de los géneros acetotróficos como la methanosarcina y la Metanosaeta o Metanotrix, siendo el principal exponente de estas el grupo Metanosarcina Barkeri (Prescott et al. 2002, citado por Cendales, 2011). El fracaso en el mantenimiento del balance entre estos dos grupos de microorganismos es la principal causa de inestabilidad del reactor (Demirel y Yenigün, citado por Blanco, 2009).

2.8 PARÁMETROS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

La eficiencia de la digestión anaeróbica es influenciada por algunos parámetros críticos, esto es muy importante para las condiciones de los microorganismos anaerobios provistos. El crecimiento y la actividad de los microorganismos anaeróbicos es significativamente influenciadas por las condiciones tales como la oxígeno disuelto, temperatura constante, valor de pH, suministro de nutrientes, intensidad de agitación, así como la presencia y la cantidad de inhibidores (por ejemplo, amoníaco). Las bacterias de metano son anaerobios exigentes, por lo que la presencia de oxígeno en el proceso de digestión debe evitarse estrictamente (biogás Handbook, 2008).

Los parámetros para medir la producción del biogás dependerán en gran medida de algunos factores, los que a continuación se mencionarán (según Téllez, 2008).

2.8.1 TEMPERATURA

La temperatura en que se realiza el proceso de digestión anaeróbica varía entre los 15 y 60°C. Los microorganismos metanogénicas son muy sensibles a los cambios de temperatura, un cambio brusco de temperatura sobre 3°C puede afectar gravemente la producción de biogás. (Fuenzalida, citada por Téllez, 2008).

De acuerdo al rango en el cual se realiza el proceso, se presenta la influencia directa de la temperatura sobre la razón máxima de crecimiento (μ max) de los microorganismos metanógenos. Así, se han identificado dos rangos de máxima actividad: el mesófilo, que opera entre 30°C y 40°C, y el termófilo, entre 45°C y 60°C (Van Lier et al., 2001 citado por Blanco, 2009). En la Figura 2 se muestra las velocidades de crecimiento de las bacterias en función de los rangos de temperatura.

- Psicrófilo: Se desarrolla bajo los 20°C, la producción de biogás en este rango es baja, siendo casi cero al llegar a los 10°C. (RILLING, citado por Téllez).
- Mesófilo: Se desarrolla entre los 25 y 40°C, las bacterias desarrolladas en este rango, son de rápida reproducción y la mayoría de los desechos orgánicos se pueden digerir en este rango para la producción de biogás. La temperatura óptima para este rango es de 35°C. (Fuenzalida, citado por Téllez, 2008). Según la investigación de Sebola et al. (2015), se encontró que la mayor calidad del biogás (%CH₄) se encuentra cuando se trabaja con temperaturas de 35°C, sin embargo cuando se trabaja con temperaturas termofílicas la calidad se va reduciendo.
- Termófilo: Se desarrolla entre los 50 y 60°C, este es el rango de mayor producción de biogás y en el menor tiempo, pero debido a la alta sensibilidad de las bacterias termofílicas y el costo del mantenimiento, este rango es usado solo en instalaciones a nivel industrial. (Fuenzalida, citado por Téllez, 2008).

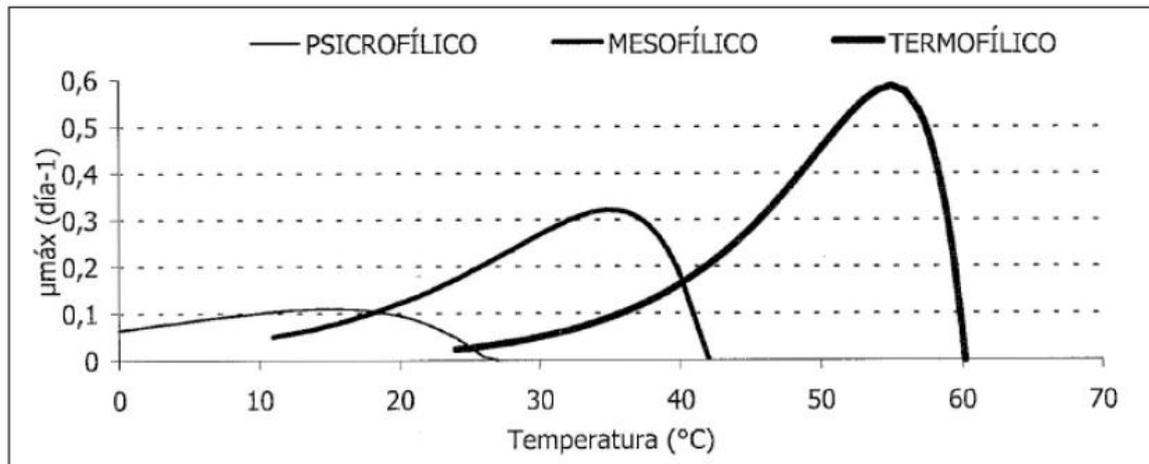


Figura 2: Influencia de la temperatura sobre la razón máxima de crecimiento de microorganismos (μ máx)

Fuente: Cendales, 2011

2.8.2 ACIDEZ

El pH ejerce una gran influencia sobre la estabilidad del proceso, puesto que es una de las variables que regula la coexistencia de las poblaciones microorganismos, mediante la actividad enzimática de los microorganismos. A pesar que dentro del ecosistema anaeróbico cada uno de los grupos microbianos presenta un grado distinto de sensibilidad respecto a este parámetro, se ha establecido el rango óptimo de pH para el desarrollo del proceso de digestión anaeróbico entre 6.5 -7.5 (Khanal, 2008 citado por Cendales, 2011) y se presentan problemas graves cuando se sale del rango 6-8,3 (Lay et al., 1997 Citado por Blanco 2009). Los VFA producidos durante la degradación anaeróbica tienden a reducir el pH. Esta reducción es normalmente contrarrestada por la actividad de las bacterias metanogénicas, que también producen alcalinidad en la forma de dióxido de carbono, amoníaco y bicarbonato (Gerardi, 2003; Hwang et al., 2004; Appels et al., 2008 citado por Durruty, 2013). En la Figura 3 se muestra los rangos de pH en los cuales la digestión anaeróbica se desarrollan con normalidad.

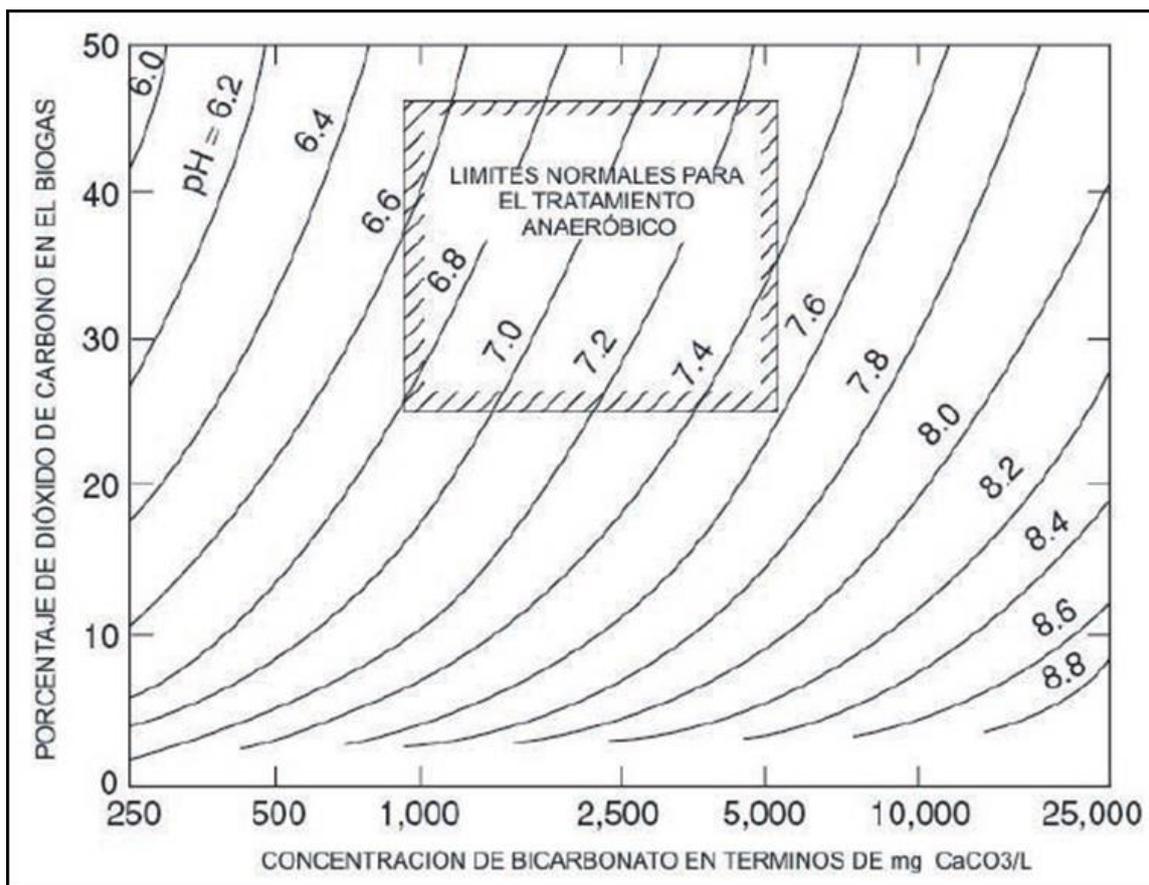


Figura 3: Rangos estables para el pH y la alcalinidad durante el proceso de digestión anaeróbica

Fuente: Khanal, 2008 citado por Cendales, 2011

2.8.3 CONTENIDO DE SÓLIDOS

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semi-continuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales (Manual de Biogás, 2010).

2.8.4 NUTRIENTES

El proceso anaerobio se caracteriza, frente a procesos aerobios, por los bajos requerimientos de nutrientes, debido fundamentalmente a los bajos índices de producción de biomasa. A pesar de ello, la biomasa necesita para su desarrollo el suministro de una serie de nutrientes

minerales, además de una fuente de carbono y de energía. Los principales nutrientes del sistema anaerobio son nitrógeno, sulfuro, fósforo, hierro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, riboflavina y vitamina B12 (Speece, 1987 citado por Campos, 2001). Además, existen una serie de compuestos esenciales para la conformación de la célula, denominados factores de crecimiento, los cuales no pueden ser sintetizados a partir de los precursores que se encuentran en el ambiente anaeróbico. Por lo tanto estos compuestos deben ser obtenidos por el microorganismo directamente del sustrato. Dentro del conjunto de factores de crecimiento requeridos por los microorganismos se encuentran aminoácidos, purinas, pirimidinas y vitaminas. (Prescott et al., 2002; Díaz et al., 2002 citado por Cendales, 2011).

2.8.5 INHIBIDORES

La literatura sobre digestión anaerobia difiere considerablemente en los niveles tóxicos o inhibitorios documentados para la mayoría de las sustancias. La razón de esta variabilidad es la complejidad del proceso de digestión anaerobia, donde mecanismos como antagonismo, sinergismo, aclimatación, etc. pueden afectar significativamente al fenómeno de la inhibición (Chen et al., 2008 citado por Blanco, s.f.). Los fenómenos de antagonismo y sinergismo son muy importantes al hablar de toxicidad. Antagonismo es una reducción de la toxicidad de un sustrato en presencia de otro y sinergismo es el aumento del efecto tóxico de una sustancia causada por la presencia de otra. La magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducida significativamente por aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. La aclimatación implica una reorganización de los recursos metabólicos para vencer los obstáculos metabólicos producidos por el sustrato tóxico, más que mutación o selección de las poblaciones (Kugelman y Chin, 1971 citado por Campo, 2001).

La principal sustancia tóxica de la digestión anaerobia es el oxígeno. Los microorganismos metanogénicos se encuentran entre los más estrictamente anaerobios que se conocen: 0,01 ppm de oxígeno inhiben completamente su crecimiento (Jarabo, 1999 citado por Blanco s.f.). El resto de inhibidores más frecuentes son el NH₃ libre, los ácidos grasos y el sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Mata-Álvarez, 2002 citado por Blanco s.f.). También los iones de metales ligeros como sodio, potasio, calcio y magnesio están generalmente presentes en los residuos orgánicos biodegradables. Estos iones pueden resultar del proceso de degradación de la materia orgánica, o por adición de compuestos químicos para mantener el pH en un rango específico. Moderadas cantidades de estos iones son necesarias para el correcto desarrollo de

las poblaciones bacterianas, sin embargo cantidades excesivas pueden retardar el crecimiento de los microorganismos, e incluso causar la inhibición (Angelidaki I.; Ahring B., 1993 citado por Cendales 2011).

2.8.6 RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno forma las nuevas cadenas de las bacterias metanogénicas. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima es del orden de 30:1. (Biava, citado por Téllez, 2008).

Si hay exceso de nitrógeno, se produce amoníaco en grandes cantidades el cual es un inhibidor, si por el contrario existe poco nitrógeno las bacterias no se multiplican y por lo tanto se limitara la producción de biogás. (Currie, citado por Téllez, 2008).

2.8.7 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA

El tiempo de retención hidráulica (TRH) hace referencia al tiempo promedio de permanencia de la alimentación líquida en un digestor anaeróbico de funcionamiento continuo. También puede definirse el tiempo de retención de sólidos (TRS), el cual indica el tiempo de permanencia promedio de la biomasa microbiana en el interior del digestor. Estos parámetros de funcionamiento dependen típicamente del reactor que sea utilizado, por lo tanto el tiempo de retención hidráulica así como la razón de carga orgánica y el tipo de sustrato, son los principales parámetros de funcionamiento que determinan el volumen del reactor (Fannin, citado por Cendales, 2011).

La fracción de materia orgánica degradada aumenta al aumentar el TRH, sin embargo la producción volumétrica de metano (producción por unidad de reactor) disminuye, una vez superado el óptimo. Es por tanto necesario determinar para cada tipo de residuo y de digestor el tiempo de retención que optimiza el proceso. Los tiempos de retención usuales tratando residuos ganaderos varían mucho según la fuente consultada y van de 10 a 30 días (Hobson, 1990 citado por Campo, 2001).

2.8.8 CARGA ORGÁNICA

La carga orgánica es la relación es la cantidad de materia orgánica, expresada normalmente en unidades de DQO o de sólidos volátiles, por unidad de reactor y unidad de tiempo, siendo directamente dependiente de la concentración del substrato y del tiempo de retención. Altas cargas orgánicas, en ausencia de inhibidores, proporcionan altas producciones volumétricas de biogás. Parece que la resistencia a ciertos inhibidores puede aumentar con la carga orgánica (Angelidaki et al., 1993 citado por Campos, 2001). Sin embargo la inestabilidad aumenta también con el aumento de carga, especialmente en el caso de “sobrecargas” puntuales, que conllevan la acumulación de ácidos grasos volátiles (Ahring et al., 1995 citado por Campos 2001).

2.9 BIODIGESTOR

El digestor es el componente del sistema de biogás que optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada” (UPME, citado por Téllez, 2008).

La variedad de biodigestores en el mercado es enorme, con diferenciadores que van desde parámetros como el volumen, hasta modelos conceptualmente diferentes. A continuación se realizará un análisis de los tipos de biodigestores o bioreactores en función a tres conceptos básicos, según el método de carga, según el sistema de retención de biomasa y según el método de construcción en el medio rural (UPME, citado por Téllez, 2008; AAE, 2011).

2.9.1 SEGÚN MÉTODO DE CARGA

a) Bioreactor tipo batch

Este tipo de biodigestor es cargado con material en un solo lote, por lo que también se llama comúnmente a este tipo de biodigestor como tipo Lote. Cuando la producción de gas decae bajo un cierto nivel después de un periodo de fermentación, este es vaciado por completo para volver a ser cargado con material fresco (UPME, citado por Téllez, 2008).

b) Bioreactor tipo continuo

En este tipo de biodigestor, se agrega material continuamente y el efluente se descarga en la misma cantidad en que se ingresa material. El proceso se caracteriza por una fermentación constante, una producción uniforme de gas, facilidad y control, se aplica en zonas en donde el material residual es abundante. (Cofre, citado por Téllez, 2008).

2.9.2 SEGÚN EL SISTEMA DE RETENCIÓN DE BIOMASA

a. Reactores sin retención interior de biomasa

- **Reactores de mezcla completa (RMC)**

Este tipo de digestores se basan en mantener una distribución homogénea en la mezcla que contienen, tanto en sustrato como en microorganismos, mediante la agitación de la mezcla por medios mecánicos o neumáticos. La disposición en el reactor de unas hélices o palas, sean de eje vertical u horizontal, genera la agitación de la mezcla para la homogeneización, de forma suave. De este modo, se evitan problemas de decantación y similares, que mermarían la capacidad de producción de biogás.

Los reactores de mezcla completa se sub clasifican en 2 (véase Figura 4):

- **RMC sin recirculación:** consiste únicamente en el digestor, con su correspondiente sistema de agitación y los sistemas de extracción del biogás y los efluentes.
- **RMC con recirculación:** también denominado “Reactor anaerobio de contacto” añade un desgasificador y decantador para el efluente del reactor, recirculando la biomasa decantada al interior del reactor principal. De este modo se evita la necesidad de re inoculación en el tanque, al no producirse la pérdida de biomasa en el efluente. Asimismo, se optimiza el aprovechamiento del biogás, al no existir pérdidas en el efluente.

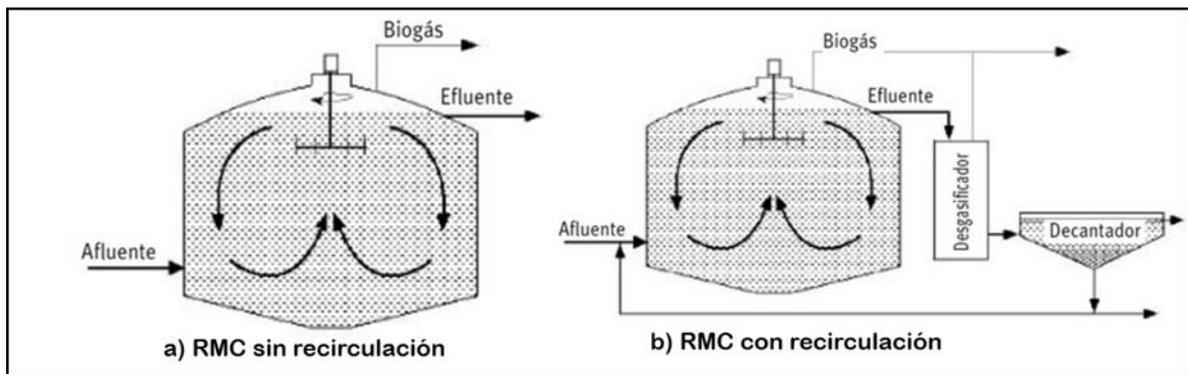


Figura 4: Esquema de reactores de mezcla completa sin y con recirculación

Fuente: Manual de biogás, 2011

Los RMC en general se utilizan únicamente para residuos muy concentrados, ya que la salida de los efluentes produce un lavado de la biomasa, y porque las condiciones de agitación influyen de manera negativa en el crecimiento de los microorganismos responsables de la reacción, cuya velocidad de multiplicación es por sí baja.

- **Reactor de flujo pistón**

El digestor de flujo pistón es un reactor de flujo horizontal, en el que se fuerza la circulación del afluente, entrando por un extremo, y saliendo el efluente por el extremo contrario. La carga orgánica del sector inicial es, por tanto, superior a la existente al final del digestor. Presenta problemas de homogeneidad vertical, por lo que frecuentemente cuentan con sistemas de agitación.

- **Digestor discontinuo**

Consiste en un simple tanque de proceso, en el que se añade la mezcla de residuos, y una vez finalizada la reacción, es decir, transcurrido el tiempo de retención, se retira el efluente y se procede a añadir material nuevamente. Obviamente, la eficiencia del proceso es escasa, por existir tiempos muertos entre fases. Además, la ausencia de sistemas de mezclado ralentiza la completa digestión anaerobia de los sustratos introducidos.

b. Reactores con retención de biomasa

Se caracterizan por evitar la movilización de la biomasa, aumentando la estabilidad de los microorganismos, evitando el lavado de los mismos y optimizando la actividad bacteriana

para la digestión. Esto conlleva a reducir el tiempo de retención de la biomasa, con respecto a los reactores sin retención de biomasa (AAE, 2011).

Existe una amplia variedad de este tipo de reactores: reactores con inmovilización de la biomasa sobre un soporte: Filtros anaerobios, lechos fluidificados; y los reactores con retención mediante gravedad: Reactores de lecho de lodos.

- **Filtros anaeróbicos**

En este sistema las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte (en forma de biofilms), columna de relleno, o atrapadas en los intersticios de éste, con flujo vertical. El soporte puede ser de material cerámico o plástico (AAE, 2011).

De acuerdo al Manual de Biogás (2011), dependiendo de la forma de alimentación, un filtro anaeróbico puede clasificarse como filtro anaeróbico ascendente (FAA), filtro anaeróbico descendente (FAD), o filtro anaeróbico de alimentación múltiple (FAM) como se muestra en la Figura 5. Generalmente no se recomienda la recirculación para una máxima recuperación de energía.

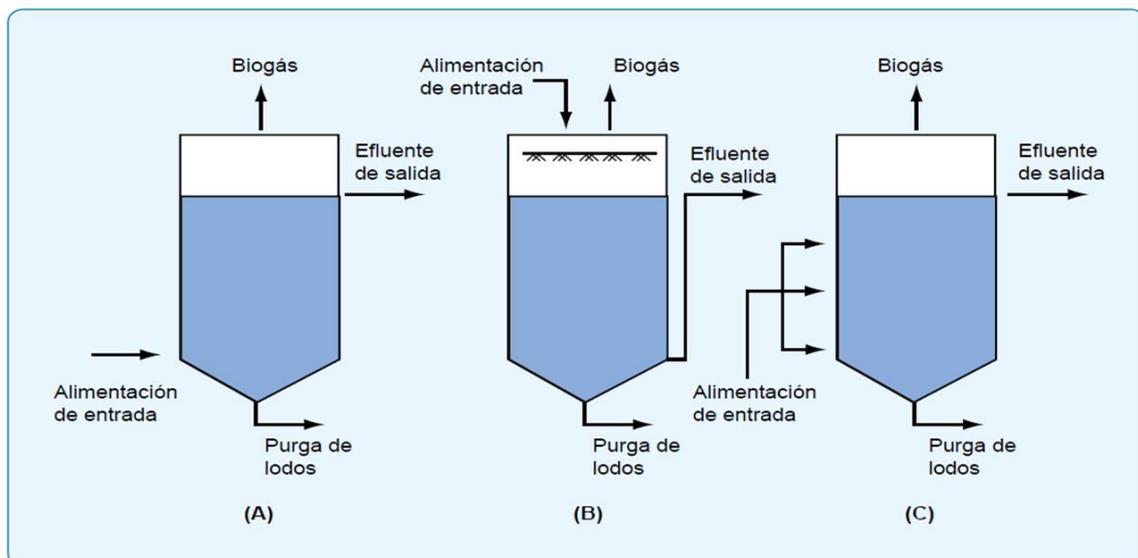


Figura 5: Tipos de filtros anaeróbicos

Fuente: Manual de biogás, 2011

Tipos de filtro anaeróbico: A) De flujo ascendente; B) De flujo descendente; C) De alimentación múltiple

El filtro anaeróbico de flujo ascendente corresponde a un tipo de reactor anaeróbico tubular que opera en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, la alimentación entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal a través de un lecho de piedras, plástico o cerámicos y sale por la parte superior. Utilizan como medio de relleno plástico sintético o cerámicos con diferentes configuraciones los cuales poseen un porcentaje alto de volumen poroso y una elevada área superficial específica, lo cual favorece el crecimiento de la biopelícula.

La turbulencia natural causada por el propio caudal del afluente y de la producción de biogás provoca el buen contacto entre agua residual y lodo en el sistema. En estos los sistemas pueden aplicarse mayores cargas orgánicas que en los procesos aeróbicos. Además, se requiere un menor volumen de reacción y de espacio, y al mismo tiempo, se produce una gran cantidad de biogás, y por tanto de energía. Por otra parte, la elevada concentración de biomasa de este sistema, lo hace más tolerante a la presencia de tóxicos.

El filtro anaeróbico de flujo descendente es similar al de flujo ascendente, excepto que la biomasa es verdaderamente adherida al medio. La biomasa no adherida es lavada del reactor. En este proceso el soporte bacteriano es acoplado al reactor formando canales verticales o tubos. La alimentación baña al relleno desde arriba hacia debajo de la columna del reactor, para su eliminación o bien para su recirculación.

Al operar el reactor con un flujo descendente, parte de la biomasa adherida se arrastra, debido a las fuerzas de fricción del líquido, lo que evita problemas de obstrucción de los canales. La contracorriente gas-líquido aumenta la mezcla y la homogenización del sistema impidiendo concentraciones localizadas de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros inhibidores en determinadas zonas del reactor.

El filtro anaeróbico de alimentación múltiple, se caracteriza porque la alimentación al reactor entra por diversos puntos a través del filtro. Las ventajas de este tipo son; permite una distribución homogénea a través del lecho; mantención de un régimen de mezcla completa a través de todo el reactor, lo cual previene las obstrucciones y la acumulación de ácidos grasos

volátiles y mantiene una concentración uniforme en todo el reactor, minimizando la obstrucción del lecho del filtro.

- **Reactores de lechos expandidos y fluidizados**

En este sistema, las bacterias se encuentran fijadas, formando un biofilm sobre pequeñas partículas (soporte) de material inerte, que se mantienen fluidizados mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Estos soportes o partículas pueden ser de arena, carbón activado granular u otros medios plásticos sintéticos, en los cuales ocurre la degradación de la materia orgánica. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación, lo cual requiere un gasto de energía (Ocaña, 2011). En la Figura 6 se muestra los reactores de lecho expandido y fluidizado.

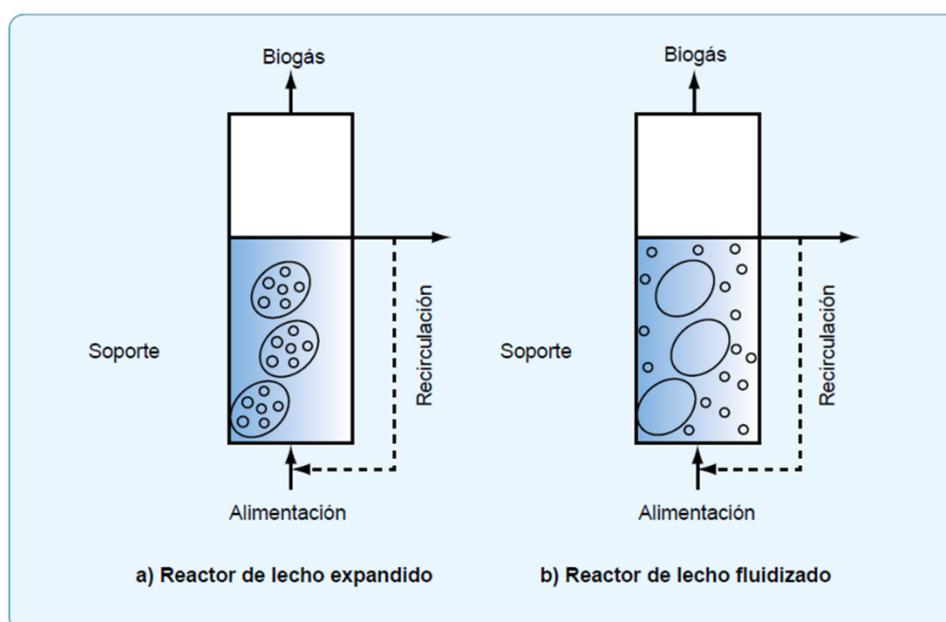


Figura 6: Representación esquemática de un RLE y RLF

Fuente: Manual de biogás, 2011

Según el manual de biogás (2011) el reactor de lecho expandido (RLE) corresponde a una estructura cilíndrica, empaquetada hasta un 10% del volumen del reactor con un soporte inerte de pequeño tamaño lo que permite la acumulación de elevadas concentraciones de biomasa que forman películas alrededor de dichas partículas. La expansión del lecho tiene lugar gracias al flujo vertical generado por un elevado grado de recirculación. La velocidad

ascensional es tal que el lecho se expande hasta un punto en el que la fuerza gravitacional de descenso es igual a la de fricción por arrastre. En un RLE, se mantiene una velocidad de flujo ascendente tal que permita la expansión del lecho en 15 – 30%.

El reactor de lecho fluidizado (RLF) tiene una configuración similar al de lecho expandido (RLE). Sin embargo, el RLF es un reactor de película fija, pues los soportes se sostienen completamente por la velocidad del flujo ascendente, véase Figura 6; además, la biomasa suspendida tiende a lavarse del sistema debido a la alta velocidad del flujo ascendente (10-25 m/h). El RLF no presenta problemas de obstrucción y proporciona una mejor difusión del sustrato dentro de la biopelícula. La expansión del lecho es del orden de 25 – 30% del volumen del lecho sedimentado en el RLF.

- **Reactores de lecho de lodos**

Este tipo de reactores se basa en las propiedades de floculación de las bacterias metanogénicas. Es decir, durante el tratamiento de agua residual en un medio en el que exista un régimen hidráulico constante de flujo ascendente, se forman unos gránulos de origen microbiológico, los cuales sin un tipo de soporte se anclan entre si y proliferan selectivamente en el medio. Debido a su gran tamaño de estos gránulos resisten el lavado del sistema de reacción, permitiendo cargas hidráulicas elevadas. Son, actualmente, los reactores que más se están utilizando, existiendo, básicamente dos tipos de estos reactores uno del tipo UASB y otro del tipo de EGSB (AAE; 2011), ver Figura 7.

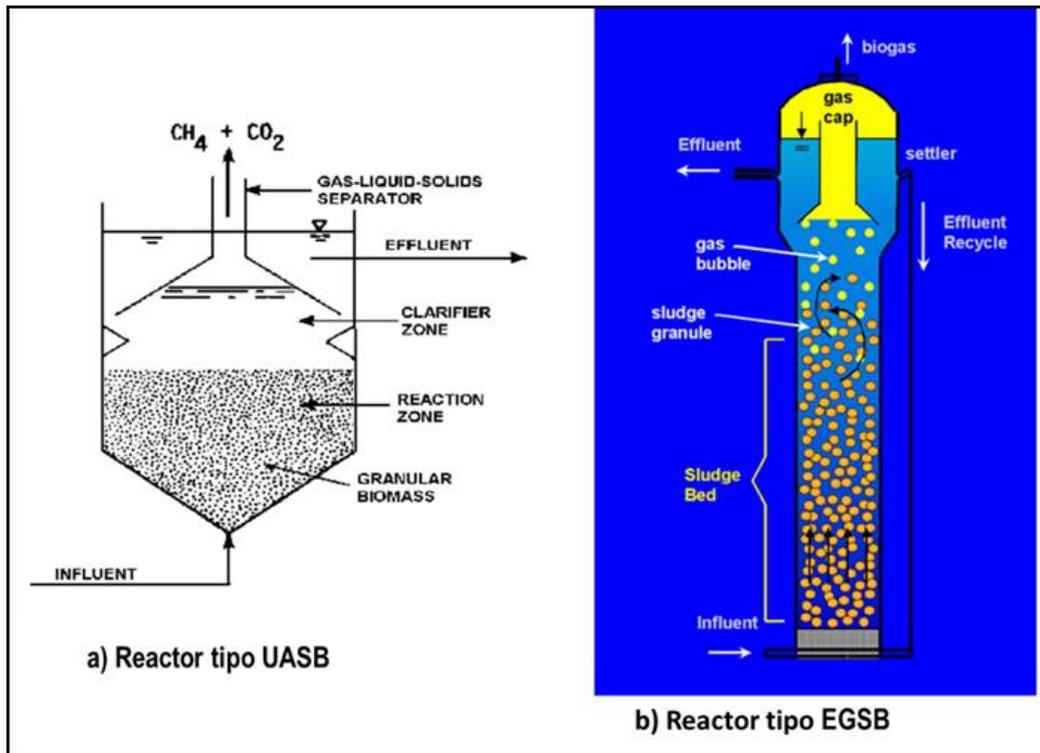


Figura 7: Representación esquemática de un reactor tipo UASB y reactor tipo EGSB

Fuente: Saleh y Mahmood, 2003

- Reactor tipo UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket)

El UASB es un sistema trifásico (biogás-líquido-sólido) de alta carga que opera como un sistema de crecimiento en suspensión. La elevada concentración de biomasa en el UASB lo hace más tolerante a la presencia de tóxicos.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor.

- Reactor tipo EGSB (Expanded granular sludge bed)

Los reactores tipo EGSB son, básicamente, una versión más evolucionada de los UASB, en los que se produce, adicionalmente al funcionamiento del UASB, una recuperación del efluente, que se vuelve a recircular, con lo que se optimiza la producción del biogás y un diseño tubular del reactor más alargado, permitiendo una mayor velocidad de flujo del

afluente, lo que hace que aumente parcialmente el tamaño del lecho granular, y se optimice el contacto entre los gránulos y el sustrato.

2.9.3 SEGÚN MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MEDIO RURAL

a) Biodigestor de Estructura Sólida

Consiste en una cámara de gas comúnmente construida de ladrillos, piedra o concreto el cual es fijo, la estructura interna está constituida por capas para aislar la cámara. El gas producido durante el proceso de fermentación es almacenado bajo el domo por lo que se generan grandes fuerzas estructurales, es por este motivo que su diseño es generalmente semiesférico con el fin de evitar concentración de tensiones (UPME, citado por Téllez, 2008).

b) Biodigestor de Estructura Sólida Móvil

La principal característica de este biodigestor es la campana flotante en donde acumula el gas producido, esta campana otorga gas a presión constante y es preferentemente construida de láminas de acero (UPME, citado por Téllez, 2008).

c) Biodigestor de Balón de Plástico

Este tipo biodigestor consta de una bolsa situada en la parte superior del digestor y es en donde se almacena el gas. La presión del gas se logra básicamente por la elasticidad del globo o adicionando pesos sobre el globo. El material para del globo debe ser elegido con mucho cuidado ya que debe ser resistente a los rayos ultravioletas y a la intemperie. Este tipo de biodigestor es bastante común en zonas donde predominan las altas temperaturas, debido a su bajo costo de construcción. (COFRE, citado por Téllez, 2008).

2.10 BIOFERTILIZANTE

El biofertilizante es un producto que se obtiene al final de la digestión anaeróbica, puede estar en forma líquida llamada también biol o en forma sólida llamada también biosol, que es un abono orgánico rico en nutrientes capaz de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, sus cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio capaz de aportar al suelo, permiten sustituir parcial o totalmente el uso de abonos químicos. (Plantas de Biogás, s.f., citado por

Téllez, 2008). Véase Tabla 3 donde se compara los valores de nutrientes del biol producidos del guano de vaca y residuos vegetales.

Tabla 3: Composición de nutrientes de biofertilizantes a partir del estiércol de vaca y residuos vegetales

Sustrato	Materia seca	Materia seca orgánica	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Guano de vaca (input)	6.6	80.0	6.2	2.7	4.3	0.9
Biol+ Biosol a partir del guano de vaca	4.0	65.0	8.6	4.1	7.3	0.4
Biol+ Biosol a partir de residuos vegetales (frutas, verduras, etc.)	2.9	60.0	11.1	2.0	5.2	1.6

Fuente: Manual de biogás, 2003 citado por Aparcana, 2008.

El efluente tratado que sale de los biodigestores es un gran fertilizante orgánico, puesto que la mayoría de sus nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio se conservan, y es conocido como bioabono o biofertilizante (Gómez & Viniegra 1979; Guevara 1996; Ramón et al. 2006 citado por Olaya; Gonzales, 2009), véase Tabla 3. El uso adecuado de los nutrientes reciclados proporciona mejoramiento en la calidad del suelo y en las siembras representando un beneficio para el agricultor (McGarry & Stainforth 1978; Guevara 1996 citado por Olaya; Gonzales, 2009).

Dependiendo de las características de los residuos a fermentar y el proceso a seguir, se tiene que en promedio el fango saliente del Biodigestor representa aproximadamente entre el 85 – 90% de la materia entrante. De este fango final, aproximadamente el 90% corresponde al Biol y el 10% al Biosol. Estos porcentajes varían según los residuos a fermentar y del método de separación empleado (Aparcana S.; Jansen A., 2008).

2.10.1 BIOFERTILIZANTE EN FORMA LÍQUIDA (BIOL)

El biol es un fitoestimulante orgánico líquido con contenido de fitoreguladores, que resulta de la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos (guanos, rastrojos, etc.) que se obtienen por medio de filtración o decantación del bioabono, en ausencia de oxígeno el biol contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes. El biol contiene nutrientes de alto valor nutritivo que estimulan el crecimiento, desarrollo y producción en las plantas (Velasteguí, 2005; INIA, 2008 citado por Chiluisa, 2014), véase la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4: Composición bioquímica del biol

Componente	Cantidad
Ácido indol acético (ng/g)	9.0
Giberelinas (ng/g)	8.4
Purinas (ng/g)	9.3
Citoquininas	No detectado
Tiamina (Vit B1) (ng/g)	259.0
Riboflavina (Vit B2) (ng/g)	56.4
Adenina	No detectado
Ácido fólico (ng/g)	6.7
Ácido pantoténico (ng/g)	142.0
Triptófano (ng/g)	26.0
Cianocobalamina (Vit B12) (ng/g)	4.4
Piridoxina (Vit B6) (ng/g)	6.6

Fuente: Aparcana S., 2005; Siura S., 2008; Citado por Aparcana, 2008.

Tabla 5: Composición de del biol micro y macronutriente, y compuestos reguladores de crecimiento

Macronutrientes y oligoelementos	Contenido (%)
Nitrógeno (N)	0.26
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.14
Potasio (K ₂ O ₅)	1.22
Calcio (ca)	2.01
Magnesio (Mg)	0.40
Azufre (S)	2.30
Cloro (Cl)	0.11
Sodio (Na)	0.30
Yodo (I)	1.00
Micronutrientes	Contenido (ppm)
Boro	8.79
Manganeso	3.50
Hierro	16.80
Cobre	0.90
Cobalto	0.40
Zinc	5.80
Compuestos reguladores de crecimiento	Unidad
Auxinas	0.08 ppb
Citoquininas	67.00 ppm

Fuente: Baldeón, 2009.

AEDES (2006) citado por Carhuacho (2012) diferencia tres tipos de biol, según el tipo de aplicación que se realiza en las plantas; el biol biocida cuya finalidad es controlar plagas y enfermedades; el biol para suelos y hojas, nutrir a la planta y mejorar la fertilidad del suelo y el biol abono foliar, nutre directamente a la planta. Este último tipo, tiene mayor ventaja porque acelera el crecimiento de las plantas e incrementa los rendimientos. A continuación se menciona los posibles usos del biol.

- Uso directo al suelo: estimula la recuperación de la fertilidad de los suelos, para obtener resultados más duraderos las aplicaciones al suelo pueden realizarse en el agua de irrigación aplicando alrededor del tallo en una dilución de 10 hasta el 30%.
- Uso foliar: busca un resultado más inmediato por lo cual es aplicado a las hojas de cultivo. La dilución debe ser del 1 hasta el 10%. La aplicación foliar puede repetirse de 3 a 4 veces durante el desarrollo vegetativo.
- Uso en la semilla: el biocida se puede utilizar para desinfectar y desinfestar las semillas y como biofertilizante a la vez para acelerar el enraizamiento. La semilla se deja en remojo antes de la siembra, el tiempo de remojo y la concentración del bioles es muy importante.

2.10.2 BIOFERTILIZANTE EN FORMA SÓLIDA (BIOSOL)

El Biosol es el resultado de separar la parte sólida del fango resultante de la fermentación anaeróbica dentro del Fermentador o Biodigestor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este Biosol tratado puede alcanzar entre 25% a sólo 10% de humedad, el cual es principalmente el biol residual. Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación en el biodigestor. Se puede emplear sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos. Para mejorar la calidad del biosol, el sustrato con que se trabaja debe ser de una mezcla de residuos más ricos (Aparcana, 2008). En la Tabla 6 se muestra las características generales del biosol de vacuno.

Tabla 6: Características generales del fertilizante sólido del estiércol de vacuno

Componente	Porcentaje (%)
Agua	15.7
Sustancia orgánica seca	60.3
pH	7.6
Nitrógeno total	2.7
Fósforo (P ₂ O ₅)	1.6
Potasio (K ₂ O)	2.8
Calcio (CaO)	3.5
Magnesio (MgO)	2.3
Sodio (Na)	0.3
Azufre (S)	0.3
Boro (B) ppm	64.0

Fuente: Aparcana S., 2005, citado por Aparcana, 2008.

El Manual de biogás (2011) menciona algunas ventajas por la aplicación del biosol; en programas de recuperación de suelos degradados permite mejorar el intercambio catiónico del suelo, con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo; además, confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo, reduciendo la erosión del suelo.

Otras de las ventajas que menciona Aparcana (2008) se mencionan a continuación.

- El uso de este abono hace posible regular la alimentación de la planta. Los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento. El uso del Biosol permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la calidad del mismo.
- El biosol mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo, esto favorece la actividad biológica en el suelo. Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- El Biosol cuenta con una mayor disponibilidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre) a comparación con el estiércol, entonces esto mejora la disponibilidad del nutriente para la planta; esto conlleva a la reducción de uso de otros tipos abono, además el uso de biosol es en menor cantidad respecto a otros similares para una misma área, véase la Tabla 6.

2.11 BIOGÁS

El biogás es una mezcla de gases producido naturalmente a partir de la fermentación anaerobia de la materia orgánica, también se produce en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos y en biodigestores anaerobios de desechos orgánicos animales y vegetales (Suarez et al., 2011; Miranda et al., 2012 citado por Severiche; Acevedo, 2013). El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (55 a 70%) y dióxido de carbono (30- 45%) entre otros gases trazas tales como Nitrógeno, Ácido sulfúrico, monóxido de carbono, Vapor de agua (Deublein y Steinhauser, 2008; Chungandro, 2010). Aunque la composición del biogás depende de muchas variables, es posible determinar un rango típico de sus componentes, como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7: Componentes principales del biogás

Componentes	Porcentaje
Metano (CH ₄)	50 - 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 - 50
Nitrógeno	0 - 3
Ácido Sulfúrico (H ₂ S)	0 - 1
Monóxido de carbono (CO)	0 - 1.5
Vapor de agua	Variable

Fuente: Chungandro, 2010 citado por Bolivar y Ramirez, 2012.

Teniendo en cuenta la heterogeneidad en la composición del sustrato se entiende que la cantidad de biogás que se puede producir a partir de un determinado tipo de sustrato y su composición (por tanto, su contenido energético) dependerá de su composición química y de las condiciones de operación de los reactores. En la Tabla 8 y Tabla 9 se muestran valores medios de composición del biogás en función del sustrato utilizado.

Tabla 8: Componentes del biogás en función del sustrato utilizado

Componente	Residuos ganaderos	Residuos agrícolas	Fangos de depuradora	Residuos municipales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de carbono	30-50%	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-2%	0-5%	0-2%	0-0.2%
Sulfuro de hidrógeno	0-1%	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0.1-1%
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0-0.2%
Nitrógeno	0-1%	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Óxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0.1-1%
Constituyentes en cantidades trazas, compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0.01-0.6%

Fuente: Fernández et al., 2008 citado por Blanco, s.f.

Tabla 9: Biogás producido en función de los sólidos volátiles

Material	Proporción (%)	Volumen de biogás (m ³)/ kg de materia	CH ₄ (%)
Gallinaza	100	0.3111	59.8
Bovinaza	100	0.0871	65.2
Porquinaza	100	0.3234	65.0
Basura de cocina	100	0.211	61.0
Residuo de papel	100	0.2178	67.1
Desechos agrícolas	100	0.2999	60.0

Fuente: Olaya, 2006 citado por Olaya y Gonzales, 2009

2.11.1 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros gases trazas. El biogás posee un poder calorífico suficiente como para sustituir otros combustibles debido a su principal componente que es el metano el cual posee un poder calorífico aproximado de 4,500 a 5,600 Kcal/m³. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (8,500 Kcal/m³), pudiéndose aumentar eliminando todo o parte del CO₂ presente en el biogás. Véase la Tabla 10.

Tabla 10: Características del biogás

Componentes	Resultados
Metano	55 - 70%
Dióxido de carbono	30 - 45%
Contenido de Energía	6.0-6.5 kWh/m ³
Equivalente de Combustible	0.60-0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6-12% biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750 °C
Presión crítico	75-89 bar
Temperatura crítico	*82.5 °C
Densidad normal	1.2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido
Masa Molar	16.043 kg/kmol

Fuente: Deublein y Steinhauser, 2008

La producción total de gas depende fundamentalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, dicho de otra forma, de la cantidad de sustrato eliminado en el proceso. Dicho sustrato suele expresarse normalmente por la demanda de oxígeno (normalmente DQO), y por los sólidos volátiles (Montes, 2008; Vera, 2011).

Los componentes más comunes que se encuentran presentes en el biogás y que pueden ocasionar daños y corrosión a nivel estructural de las tuberías, equipos entre otros, como también a la salud de las personas y al medio ambiente. Estos componentes son: CO₂, H₂S, NH₃, Vapor de agua, Polvo, N₂ y Siloxanos, en la siguiente Tabla 11 se resume los efectos de estos.

Tabla 11: Componentes tóxicos más comunes en el biogás y sus efectos

Componente	Contenido	Efecto
CO ₂	25-50% de volumen	- Reduce el poder calorífico
		- Incrementa el porcentaje de biogás
		- Causa corrosión si el gas está húmedo
		- Daña celdas alcalinas de combustible
H ₂ S	0-0.5% de volumen	- Corrosión en equipos y tuberías
		- Emisiones de SO ₂ después de quemadores o emisiones de H ₂ S en una combustión imperfecta
		- Daño de catalizadores
NH ₃	0-0.05% de volumen	- Emisiones de NO _x luego de quemar las celdas dañadas
		- Aumenta la propiedad de antidetonante en los motores
Vapor de agua	1-5% de volumen	- Causa la corrosión de equipos y sistemas de tuberías
		- Daño de instrumentos por el condensado
		- Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas
Polvo	> 5ppm	- Bloquea boquillas y celdas de combustible
N ₂	0-5% de volumen	- Reduce el poder calorífico
		- Aumenta la propiedad de antidetonante en los motores
Siloxanes	0-50 mg/m ³	- Actúa como un abrasivo y daña los motores

Fuente: Deublein y Steinhauser, 2008

Para poder reducir los daños ocasionados por los componentes tóxicos del biogás se tiene que realizar un tratamiento. Tsagarakis y Papadogiannis (2006) citado por Montes (2008) mencionan un conjunto de tratamientos del biogás, sin embargo precisan que el tipo de tratamiento depende de la composición del biogás y del uso que tendrá. El biogás suele contener ácido sulfhídrico que puede ser corrosivo si hay superficies metálicas. Además corroe el hormigón. También puede contener hidrocarburos. El gas fluye de los digestores saturado de vapor de agua, que también es perjudicial para las instalaciones y es necesario eliminarlo. En otros casos será preciso concentrar el gas, eliminando el CO₂, que puede suponer del 60-40% en volumen.

- Eliminación de partículas: Se trata de métodos sencillos que se basan en el uso de rejillas metálicas, trampas de agua o combinaciones de ambas.
- Deshidratación a través de condensadores: El biogás normalmente se encuentra saturado de vapor de agua. La eliminación del agua se realiza mediante su condensación en trampas frías. Si la digestión se realiza a 35 °C, el biogás contiene

aproximadamente 35 g de agua por m³. La trampa fría o condensador aprovecha la diferencia de temperaturas entre el digestor y la temperatura ambiente exterior para condensar el agua en forma natural.

- Eliminación de H₂S: El sulfhídrico es un compuesto altamente corrosivo por lo que su concentración debe reducirse por debajo de los niveles aceptables, para proteger las instalaciones de gas, motores, calderas y turbinas. Durante el proceso de digestión anaerobia, en el que se mantienen condiciones reductoras, en presencia de compuestos azufrados en el medio, se desarrollan bacterias sulfato reductoras que producen H₂S, en proporciones que pueden llegar al 1% en volumen. La eliminación de H₂S del biogás se consigue por diferentes métodos, que básicamente se basan en una oxidación a azufre elemental, sólido. Se puede eliminar usando gran variedad de absorbentes en medio líquido u oxidantes en fase sólida. Los métodos que utilizan absorbentes líquidos son preferiblemente usados si es necesario eliminar también CO₂ para alguna aplicación. Los métodos de eliminación en seco son en general mejores si no es necesario eliminar CO₂ y son más económicos, sobretodo en pequeñas instalaciones.

2.11.2 USOS DEL BIOGÁS

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química:



El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser optimizada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior) (Manual de biogás, 2011).

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.

El biogás producido en plantas integradas en explotaciones agro-ganaderas desempeña un papel importante en el ámbito de los recursos bio-energéticos. Tiene en general aplicaciones eléctricas o térmicas, si bien en ocasiones se producen los dos tipos conjuntamente en plantas de cogeneración e incluso electricidad, calor y frío mediante el procedimiento de la trigeneración. La generación eléctrica se realiza empleando motores de combustión interna acoplados a generadores eléctricos. La combustión de biogás para uso térmico suele aplicarse para la calefacción del propio digestor o para otros usos dentro y fuera de la explotación donde se encuentra la planta (invernaderos de plástico, invernaderos convencionales, maíz, criaderos de ganado porcino y edificios públicos). El biogás puede emplearse también como combustible de máquinas de refrigeración (frigoríficos) o para pilas de combustible. Mejorado y presurizado, el biogás es adecuado como biocarburante para vehículos, aunque es necesario contenedores de alta presión (200 a 300 bar), además debe de ser purificado antes de su compresión (Parlamento Europeo, 2008 citado por Blanco, s.f.; Manual de biogás, 2011).

2.11.3 MÉTODO PARA LA CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL BIOGÁS

a) Método estequiométrico a partir de la relación ácido acético/ácido propiónico

En la metanogénesis la relación ácido acético/ácido propiónico se puede predecir la producción de CH₄ y CO₂. Si esta relación llega a 0,5 la pérdida energética puede ser de 0%. Pero si todos los carbohidratos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera ácido propiónico, las pérdidas energéticas podrían llegar a ser del 33%; mientras que la relación acético: propiónico puede variar entre 0,9 y 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente. (Johnson y Johnson, 1995; Wolin, 1960 citado por Ramirez, 2010).

b) Método estequiométrico a partir de la producción de ácidos grasos volátiles

Ramírez (2010), menciona que autores como Wolin (1960) han determinado estequiométricamente la estimación de CH₄ y CO₂ con relación a la producción de ácidos grasos volátiles (AGV). En donde se estima que 57.5 moles de glucosa (C₆H₁₂O₆) producen 65 moles de acético (CH₃CO₂H) + 20 moles de propiónico (CH₃CH₂CO₂H) + 15 moles de butírico (CH₃(CH₂)₂CO₂H) + Y moles de CO₂ + Z moles de CH₄. Para calcular la producción de CO₂ y CH₄ (Y y Z) se usan las ecuaciones siguientes.

$$Y = \frac{Ma}{2} + \frac{Mp}{4} + \frac{3Mb}{2} \quad \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Y = moles de CO₂

Ma = Proporción molar del ácido acético

Mp = Proporción molar del ácido propiónico

Mb = Proporción molar del ácido butírico

Para el cálculo de CH₄, Wolin (1960) propone la siguiente ecuación:

$$Z = Ma + 2Mb - Y \quad \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Z = Moles de CH₄

Y = Moles de CO₂

Ma = Proporción molar del ácido acético

Mb = Proporción molar del ácido butírico

La metodología propuesta por Wolin (1960) asume que todo el exceso de H₂ es convertido en CH₄ y no hay hidrógeno asociado con la síntesis de células microbiales y que de la fermentación de los sustratos no carbohidratados no se producen AGV. Cuando las células microbiales son incluidas en la estequiometría de la fermentación, los estimativos de la producción de metano pueden disminuir.

c) Cromatografía de gases

En cromatografía de gases (GC), la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna de cromatografía. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte, y a diferencia de la mayoría de los tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna. Existen dos tipos de cromatografía de gases: la cromatografía gas – sólido (GSC) y la cromatografía gas-líquido (GLC). La cromatografía gas – líquido tiene gran aplicación en todos los campos de la ciencia y su denominación se abrevia normalmente como cromatografía de gases (GC) (Cromatografía de gases, 2010 citado por Pazmiño, 2012).

d) Medición in situ

Pazmiño (2012) menciona que esta metodología utiliza un equipo portátil que lo opera personal entrenado un ejemplo de ello es el equipo TESTO que se compone de una sonda de muestreo de 335 mm de longitud y un Tubo Pitot de 350 mm de longitud que nos permiten medir: Oxígeno, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Temperatura Absoluta, Presión diferencial, Velocidad, Caudales, Rendimiento y Exceso de aire.

Además permite realizar monitoreos o controles de aire en procesos de combustión para la industria y puntos fijos determinando los niveles de emisión de gases de combustión de hornos, calderas, incineradores, entre otros y pudiendo contar con los resultados in situ.

e) Otras metodologías

Ramírez (2010) menciona que otra de las metodologías considera las características del alimento para calcular la producción de metano. La ecuación de Blaxter y Claperton (1965) consideró inicialmente las características del alimento y es la base de la cual la mayoría de los estimativos de producción de metano se han derivado. Otra ecuación fue propuesta por Moe y Tyrrel en 1979, la cual también incorpora las características del alimento. Se deriva de mediciones realizadas en ganado con raciones diarias de alta calidad y su relación con residuos solubles, hemicelulosa y celulosa en la producción de metano (Carmona, 2005 citado por Ramírez, 2010). Esta se determina como:

$$\text{CH}_4 = 3.406 + 0.510 (\text{residuo soluble}) + 1.736 (\text{hemicelulosa}) + 2.648 (\text{celulosa})$$

Donde:

CH₄ está en MJ/día y los residuos solubles, hemicelulosa y celulosa en kg /día

Por otro lado, el CH₄ puede ser medido usando espectroscopía infrarroja, espectroscopía de masa y técnicas de diodo láser (Johnson y Johnson, 1995, citado por Ramírez, 2010). Las mediciones de metano in vivo requieren de equipos en muchas ocasiones no accesibles; una alternativa es estimar el metano a través de cálculos. Esto usualmente se realiza por ecuaciones de regresión de consumo de energía digestible (ED), las cuales ignoran las relaciones de ácidos grasos volátiles y el balance de carbono (IPCC, 2001). Esto conlleva que los valores de energía metabolizable (EM) puedan no ser buenos estimativos de la producción de metano.

2.11.4 METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BIOGÁS Y METANO EN LABORATORIO – POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

El ensayo o prueba de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) es un método para medir la biodegradabilidad de sustratos. Este ensayo permite que la producción de metano de un sustrato específico pueda ser determinado experimentalmente en un laboratorio (Angelidaki et al., 2009 citado por Luna, 2011). Las ventajas de este ensayo son: estimación del potencial del metano, fácil de construir e instalar, bajo costo en la construcción y, repetibilidad y reproductibilidad. Sin embargo, la prueba puede tomar desde 20 a 60 días, dependiendo del sustrato.

La prueba de PBM son usados principalmente para determinar el posible rendimiento de metano de materia prima. Estos ensayos también proveen información de la degradación anaeróbica de la materia prima incluyendo la tasa de degradación, incluso, es posible realizar una evaluación aproximada de la presencia de componentes inhibitorios. Los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica estandarizados se describen en la norma EN 11734, DIN 38 414-S8 o VDI (2006). El ensayo de PBM se basa principalmente en la norma DIN 38 414-S8 y ligeramente simplificada de acuerdo a Braun (1982) y Braun (2007). Para hacer la prueba más práctica, los dispositivos de medición de gas eudiómetro caros se sustituyen por

botellas de desplazamiento de agua simples. Además, una botella con una solución alcalina se coloca después del digestor buque con el fin de absorber el dióxido de carbono producido, y para permitir la medición directa de metano. La puesta a punto de esta prueba simplificada PBM (Drosg et al., 2013).

Drosg et al. (2013) presenta una metodología de PBM adaptada a lo más cercano que la mayoría de investigaciones lo realizan, en ella menciona que la instalación principal de una prueba PBM como puede verse en la Figura 8. Para cada muestra de materia prima se debe realizar una prueba por triplicado. Adicionalmente, en cada prueba se debe realizar un blanco por triplicado (inóculo). Si los ensayos de PBM son llevados a cabo para varias muestras de materia prima, un blanco por triplicado es suficiente. Para desarrollar un ensayo de PBM, la muestra de materia prima y el inóculo son pesados y llenados dentro de la botella reactor de 500 – 1000 ml.

Un agitador magnético es usado para la mezcla. Las botellas son colocados en una cámara de clima o un baño de agua (baño maría). Para determinar la concentración sin dióxido de carbono, la botella digestora es conectada a una botella de solución alcalina (2-4 mol/L NaOH), la cual es también conectada a una botella de desplazamiento de agua (1-2 L). El volumen de agua en la botella de desplazamiento de agua tiene que ser más grande que el volumen de producción de gas esperada. Un tubo sale de la botella de desplazamiento a otro recipiente receptor, en el cual el volumen de producción diario puede ser recuperado y medido. Inicialmente, el volumen debe ser leído a diario. Después de una disminución en la producción de gas, el volumen se puede medir 2-3 veces a la semana. La mayoría de gas se produce normalmente durante la primera semana. Después de 20-30 días la degradación biológica es normalmente casi terminado. Los ensayos de PBM se pueden detener cuando la producción diaria de gas es inferior al 1% de la producción total de gas. Al final de la prueba, se debe llevar a cabo una medición de pH en cada ensayo de PBM, para verificar si ocurrió una acidificación o si la solución alcalina se reintroducido al matraz digestor debido a la presión negativa. En ambos casos, la prueba de PBM tendrá que repetirse.

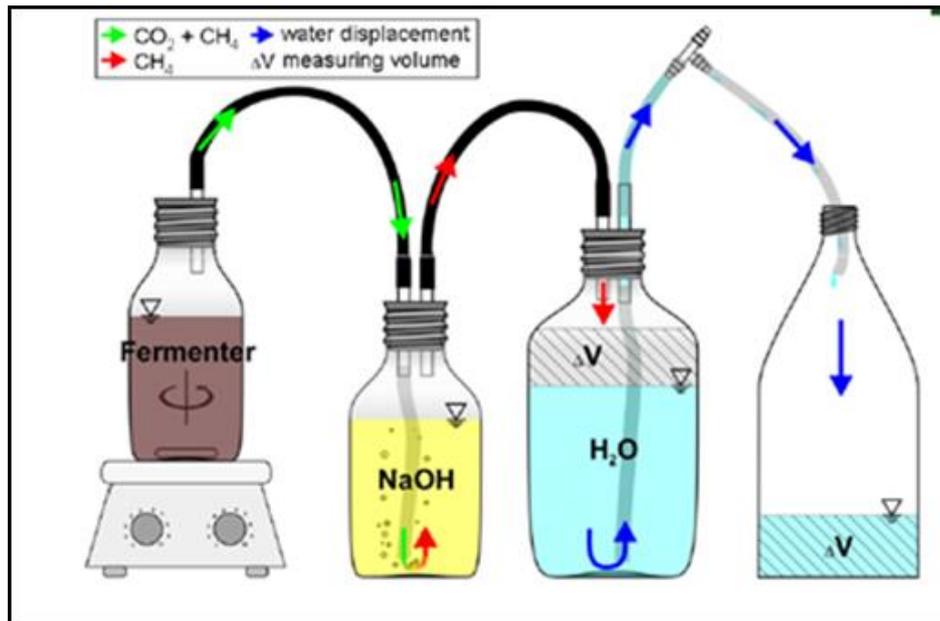


Figura 8: Instalación experimental simplificada para determinar el Potencial bioquímico de Metano ()

Fuente: Drog et al., 2013

La instalación descrita en la Figura 8 es sólo para medir el metano. Si se desea medir el biogás (metano junto a otros gases como el CO₂, etc.), el sistema es similar al de la medición de metano, pero la botella que contiene la solución alcalina se debe retirar de la instalación experimental; así mismo, el agua de la botella de desplazamiento debe ser acidificado para que el CO₂ producido no se pueda diluir en el agua. En la Figura 9 se puede ver la instalación experimental para medir el biogás.

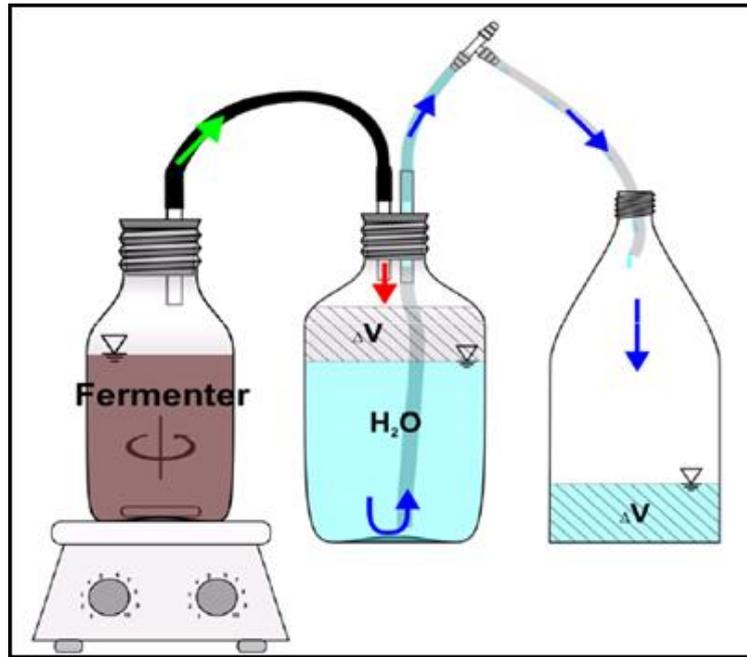


Figura 9: Instalación experimental simplificada para determinar el potencial del biogás

Fuente: Drog et al., 2013

El volumen de tanto del biogás como del metano se mide a condiciones normales (CN), es decir a una temperatura de 0 °C (273 °K) y una presión de 1 atm (760 mmHg). Además, se debe conocer la presión y temperatura del ambiente – específicamente la temperatura del gas en la botella de desplazamiento de agua. Para mayor precisión en el cálculo, la presión hidrostática del agua desplazado (aproximadamente 10 cm) deberá ser añadida a la presión de ambiente, es decir, la presión de vapor a temperatura ambiente puede ser restada de la presión ambiental. A continuación se presenta la ecuación para medir el metano y biogás (Drog et al., 2013).

$$V_o = \frac{V * (760 - P_w) * T_o}{P_o * T}$$

Donde:

V_o : Volumen del gas a Cond. Normal

V : Volumen del gas.

P_o : 760 mmHg

P_w : Presión del vapor de agua.

T_o : 273 K

T : Temperatura ambiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN

La caracterización se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Parque Zoológico de Huachipa (PZH) que se encuentra ubicada en el distrito de Ate Vitarte, Lima – Perú.

Para poder realizar una caracterización eficiente, primeramente se realizó un diagnóstico del manejo de los residuos que generan los animales del Parque Zoológico, en base a la variable de la cantidad de excretas generado se seleccionó a los animales a tomar en cuenta para la investigación. Posteriormente se caracterizó las excretas de los animales seleccionados y finalmente se recopiló información acerca del tipo de su alimentación.

No se tomó en cuenta los residuos domésticos generados por el público visitante al Parque Zoológico, pues el objetivo estuvo centrada en los residuos generados por los animales. Para conocer el manejo de las excretas, la alimentación y los restos de los alimentos se recopiló información a través de entrevistas, pláticas y opiniones informales a los jefes de las diferentes áreas y al personal responsable del cuidado de los animales, toma fotográfica y revisión bibliográfica.

Los resultados de esta evaluación preliminar se presentan en el capítulo IV de resultados.

3.1.1 RESTOS DE EXCRETAS

a. Ubicación

La caracterización se realizó dentro de las instalaciones del Parque Zoológico Huachipa (PZH), que se encuentra ubicada en el distrito de Ate Vitarte, Lima.

b. Materiales

- Cuadernillos
- Lapicero
- Cámara fotográfica
- Guantes
- Mandil
- Botas
- Bolsas de 20x30 cm de color verde, amarillo y rojo y bolsas de 30x60 cm color negro

c. Procedimiento

La caracterización de los restos de las excretas consistió en medir diariamente durante ocho días el peso de las heces junto con los demás residuos de los alimentos de los animales que quedaban en los dormideros, se desarrolló de este modo por dos motivos; uno porque que los residuos de alimentos estaban combinadas con las excretas por lo que no se pudo tomar los pesos por separado, y dos porque ayudaría a gestionar mejor el tratamiento.

Para la recolección de las heces y los residuos primeramente se agrupó diferentes áreas, de las que habían sido seleccionadas para la investigación, y se les dividió en cuatro zonas: la granja, la zona africana, el felinario y la sabana. Para la caracterización se coordinó con las personas encargadas del cuidado de cada zona para poder recogerlos antes de que fueran desechadas.

Los resultados de la caracterización de las excretas se encuentran en el siguiente capítulo IV de resultados.

3.1.2 ALIMENTACIÓN

a. Materiales

- Cuaderno
- Lapicero

- Cámara fotográfica
- Computadora

b. Procedimiento

La Unidad de Nutrición del PZH y la Unidad de Nutrición de la granja del PZH están a cargo de la dieta alimenticia de los animales, son ellos los que prescriben la dieta alimentaria en base a su estado fisiológico, edad, sexo, estado de salud. Para obtener dicha información se visitó a los encargados de éstas unidades en el Parque zoológico, así también se visitó los dormitorios y áreas de esparcimiento, instalaciones donde se almacena y se preparan los alimentos.

La información se obtuvo haciendo apuntes de la observación directa, entrevistas, pláticas y opiniones informales a los ingenieros responsables, al personal responsable de cuidado y encargados de la cocina para los animales. Al final los ingenieros nos facilitaron la información de la dieta diaria de los animales en estudio.

Los resultados de la recopilación de los datos y la información acerca de la alimentación se encuentran en el capítulo IV de resultados.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR (PROTOTIPO DE BIODIGESTOR)

a. Ubicación

La construcción de los prototipos fueron llevados a cabo dentro de las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

b. Materiales

- 12 Botellas de vidrio de 500 ml
- 18 Botellas de vidrio de 1000 ml
- 18 Tapones de jebe de 6 ½ pulgadas (in)

- 18 metros de mangueras siliconadas de 7 in
- 3 metros de tubos de vidrio de 7 in
- 5 unidades de barras silicona
- Pistola de silicona
- 12 unidades de buretas de 100 ml
- Taladro eléctrico de columna con una broca de 7 in
- 1 paquete de cintillos de amarre (precintos) 3x100 mm
- 1 paquete de cintillos de amarre (precintos) 3.6x150 mm
- 1 paquete de cintillos de amarre (precintos) 3.5x300 mm

c. Procedimiento

Se construyeron 12 prototipos de biodigestores a escala del tipo batch, para lo cual se utilizaron botellas de vidrio de 500 ml de capacidad (llamado reactor o biodigestor), en los cuales se realizará la fase experimental de la investigación. Se construyeron dos sistemas de medición, una para la medición del metano y la otra para el biogás.

En principio se perforó los tapones de jebe entre uno a dos orificios con el taladro eléctrico que se encuentra en el Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Los tapones de jebe sirven como selladores herméticos de los reactores a construirse. Para el desfogue del gas producido, se cortaron tubos de vidrio en pedazos de 7 centímetros y luego fueron introducidos hasta traspasar el 50% de su medida por los agujeros de los tapones de jebe; además, las mangueras siliconadas fueron cortadas en tamaños de 20 a 70 centímetros dependiendo de la conexión entre botellas, con la finalidad de interconectar entre ellas y el reactor, para que sea posible el desfogue del gas y su consiguiente medición.

La construcción del sistema de medición del metano fue de la siguiente manera; los reactores fueron sellados con el tapón de jebe que tenía solo un orificio (el orificio sirve para el desfogue del gas producido), luego a través de una manguera siliconada se conectó a otra botella de 1000 ml que contenía Hidróxido de Sodio de 2 – 4 moles/L, el hidróxido atrapa el CO₂, formando HCO₃ y dejando pasar solo el gas metano. Esta última botella con hidróxido se selló con un tapón de dos agujeros, uno de los orificios fue para la entrada del gas

proveniente del reactor y el segundo orificio para el desfogue del metano, este segundo orificio se conectó a través de mangueras siliconadas a otra botella de 1000 ml (que contenía agua destilada) sellada con un tapón de dos orificios, uno de los orificios sirvió para ingresar el gas metano, y la otra para desplazar el agua a una bureta de 100 ml.

La construcción del prototipo para la medición del biogás fue muy similar a la estructura para la medición del metano, la diferencia consistió en que no se usó las botellas de 1000 ml que contenían hidróxido de sodio, sino que fueron conectados directamente del reactor a las botellas de 1000 ml que contenían agua ácida con un pH 3 – 4 (agua destilada titulada con HCl de 1 mol/L).

Los cintillos de amarre o también llamados precintos ayudaron al sellado del reactor y de las demás botellas. Los cintillos de 100mm fueron utilizados para presionar las uniones de las mangueras siliconadas con los tubos de vidrio (véase figura 10d), y las de 150 mm y 300 mm fueron utilizados para hacer un nudo y ajustar los tapones a la boca de las botellas. Finalmente se utilizó barras de siliconas para sellar las uniones de las mangueras con los tubos de vidrio, y los tapones de jebe con las botellas.

En la figura 10, se muestra el proceso de construcción de los reactores que se utilizaron en el proceso de fermentación anaeróbica para la medición de metano y biogás.



Figura 10: Construcción del sistema de medición de biogás y metano

En la figura se muestra a) haciendo orificios a los tapones de jebe con el taladro eléctrico; b) introduciendo los tubos de vidrio por los agujeros hechos a los tapones de jebe; c) puliendo los tapones de jebe para que quepan en la boca de las botellas y d) probando si los tapones sellan las botellas.

Para determinar si el reactor y las demás botellas se encontraban selladas herméticamente se inyectó un flujo continuo de aire por medio de una pequeña bomba de aire, antes de ello se preparó una espuma con la mezcla de agua con detergente y se cubrió alrededor de los tapones, la boca de las botellas y demás uniones. Véase Figura 11.



Figura 11: Prueba hermética del reactor en el sistema de medición de biogás

3.3 ANÁLISIS DE LOS RESTOS DE EXCRETAS y AGUA

3.3.1 ANÁLISIS DE LOS RESTOS DE LAS EXCRETAS

a. Humedad

La determinación de la humedad es establecida por la pérdida de masa de la muestra cuando es calentada bajo ciertas condiciones de temperatura, tiempo y atmósfera específica.

Para determinar el porcentaje de humedad se tomó una muestra de aproximadamente 2 gramos, y se colocó en crisoles previamente pesados. Las muestras se introducen en una estufa a 105 °C por 24 horas; al término de este tiempo se retiran los crisoles con la muestra y se colocan en un desecador hasta que se enfríen y alcancen la temperatura ambiente. Posteriormente se registró el peso final.

El porcentaje de humedad se calcula utilizando la siguiente relación:

$$\% H = \left(\frac{A - B}{B} \right) * 100$$

Donde:

%H : Porcentaje de humedad

A : Masa de la muestra

B : Masa de la muestra después de secado a 105 °C

b. Sólidos totales y volátiles

La determinación de los Sólidos Totales y Sólidos Volátiles fueron realizados dentro del laboratorio de Ingeniería Ambiental con el apoyo del personal técnico.

El contenido en sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) se determinó adaptando, los métodos de referencia 2540B y 2540E respectivamente, según el Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 1998, citado por Blanco, 2009). Se realizaron cuatro pesadas: la primera, a una cápsula de porcelana o crisol (W1); la segunda, al crisol con la muestra fresca (W2); la tercera, al crisol más la muestra después de haberlas sometido a 105°C durante 24 horas (W3); y la cuarta, al crisol más la muestra después de haberlas sometido a 550°C durante una hora (W4).

El tratamiento a 105°C se realizará en una estufa Memmert, y el tratamiento a 550°C, en un horno mufla. En ambos casos, antes de las correspondientes pesadas, se mantuvieron las muestras tratadas en un desecador durante 10 minutos para permitir el equilibrio de temperaturas.

Los contenidos en ST y SV se determinaron según las siguientes expresiones:

$$ST(\%) = \left(\frac{W3 - W1}{W2 - W1} \right) * 100$$

$$SV(\%base\ seca) = \left(\frac{W3 - W4}{W3 - W1} \right) * 100$$

Dónde:

ST (%): Porcentaje de sólidos totales

SV (%): Porcentaje de sólidos volátiles

c. Cenizas

Las muestras contenidas en el crisol del paso anterior de la determinación de la materia volátil fueron llevadas a un horno que tenga una temperatura de 450 °C – 500 °C por espacio de 1 hora, luego se aumenta la temperatura entre 700 °C – 750 °C por espacio de 2 horas. Se aumenta la temperatura de forma progresiva para evitar que se produzcan carbonatos (carbonos inorgánicos), por tanto si seguimos estos pasos dará como resultado carbono orgánico.

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{Masa de las cenizas}}{W2 - W1} \right) * 100$$

Donde:

Masa de las cenizas : *Peso de las cenizas en el crisol menos el peso del crisol (W1).*

W1 : *Peso del crisol o cápsula de porcelana.*

W2 : *Peso de la cápsula con la muestra fresca.*

d. Carbono orgánico

Para hallar el carbono orgánico se toman todos los datos obtenidos anteriormente y se emplea la siguiente fórmula.

$$\% \text{ C.O.} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ S.Volatil} + \% \text{ Cenizas})$$

Donde:

%C.O. : *Porcentaje de carbono orgánico.*

e. Determinación del Nitrógeno

Para la determinación del nitrógeno se sigue el procedimiento de Microkjeldahl, descrito en el método 955.04 de la AOAC (1990), utilizando una unidad de digestión y una de destilación Kjeldahl. El método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio, de este se libera amoniaco por tratamiento alcalino, luego éste último se transporta con ayuda de una destilación en corriente de vapor a un recipiente con ácido bórico y se realiza una titulación con una

solución valorada de ácido sulfúrico hasta que la solución cambie de color verde a rojo violeta.

f. Relación Carbono: Nitrógeno

Para realizar este análisis las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Suelo, Plantas, Agua y Fertilizantes (Laboratorio LASPAF). Para determinar la relación carbono/nitrógeno el laboratorio primeramente determinaron el porcentaje de carbono y nitrógeno, luego por una simple operación aritmética, realizando una división entre el porcentaje de carbono y nitrógeno.

En la Tabla 12, se puede observar los resultados del análisis realizado en el laboratorio LASPAF y en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

Para poder entender y generalizar la información se tomará en cuenta:

- Mezcla 1 (zona africana, sabana y felinario), como Tratamiento 1.
- Mezcla 2 (zona de granja), como Tratamiento 2.
- Mezcla 1 + mezcla 2, como Tratamiento 3.

Tabla 12: Resultado del análisis de los residuos de las excretas

Muestra	% Humedad	% Sólidos Totales	% Sólidos Volátiles	% Carbono	% Nitrógeno	Relación C:N
Tratamiento 1	52.12	47.88	44.88	25.65	1.25	20.52
Tratamiento 2	36.78	63.22	62.75	39.31	1.45	27.11
Tratamiento 3	39.28	60.72	41.22	31.10	1.30	23.92

Fuente: Laboratorio de Suelo, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM

En la tabla anterior se puede apreciar que el tratamiento 2 es el que tiene el mayor porcentaje de Sólidos totales y Sólidos volátiles; los Sólidos Volátiles representan la materia biodegradable en el proceso de biodigestión (Chen et al., 2010 citado por Kafle & Kim, 2012).

3.3.2 ANÁLISIS DEL AGUA DEL POZO

a. Ubicación

El agua que se utilizó para el proceso de biodigestión se tomó de uno de los pozos del Parque Zoológico Huachipa, el agua de los pozos son extraídos del subsuelo y son almacenados en estos pozos de 2 m de ancho, 4 m de largo y 2 m de profundidad.

El pozo se encuentra al costado del bosque de aves, en la parte izquierda de la cabecera del canal de regadío que pasa por Parque zoológico.

Para determinar el análisis de la calidad del agua de pozo el cual sería utilizado en los biodigestores una parte de la muestra se llevó al laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego (Laboratorio LASMAF) del Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, la otra parte de la muestra se realizó en el laboratorio de Ingeniería Ambiental.

b. Materiales

- Balde de 5 L
- Botella de 2500 ml de plástico de primer uso
- Botella de vidrio de 1000 ml

c. Procedimiento

Para realizar el análisis del agua en los laboratorios se tomó una muestra de aproximadamente 2500 ml en una botella de plástico.

Primeramente la botella de plástico de primer uso fue lavado con el agua de pozo. Para extraer el agua se utilizó un balde de 5 L luego se vació a la botella de plástico de 2500 ml hasta que rebalse. Esta muestra de agua se transportó hasta los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina, una parte fue separado en una botella de 1000 ml para el análisis respectivo en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego

(LASMAF) y lo demás fue utilizado para realizar el análisis en el laboratorio de Ingeniería Ambiental.

El análisis en el laboratorio LASMAF consistió en determinar Alcalinidad total, Dureza total, Fósforo total, Magnesio, Sulfato, Cloruros, Dureza total, Carbonatos y metales pesados: Cobre, Cadmio, Calcio y Zinc. En el laboratorio de Ingeniería Ambiental se determinó el pH, turbidez, conductividad eléctrica, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos totales y sólidos suspendidos.

En la Tabla 13 se muestra los resultados del análisis físico-químico del agua de pozo, además se hace una comparación con el Estándar de Calidad Ambiental de Agua (ECA-Agua) para la categoría 3, y las subcategorías D1: riego de cultivos de tallo alto y bajo; y D2: bebida de animales.

Tabla 13: Resultado del análisis del agua de pozo

Calidad del Agua de Pozo			ECA - Agua (categoría 3)	
Parámetro	Unidad	Resultados	D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales
pH		7.74	6.5 - 8.5	6.5-8.4
Turbidez	NTU	0.53	-	-
Conductividad E.	mS/cm	0.59	2.50	5.00
DBO5	mgO ₂ /L	6.46	15	15
Sólidos totales	mg ST/L	455.00	-	-
Sólidos suspendidos total	mg SST/L	345.00	-	-
Sólidos suspendidos volátil	mg SSV/L	62.00	-	-
Sólidos suspendidos fijos	mg SSF/L	76.00	-	-
Cobre	mg/L	< 0.035	0.2	0.5
Cadmio	mg/L	<0.012	0.01	0.05
Calcio	mg/L	99.20	-	-
Zinc	mg/L	0.03	2.00	24
Fosforo Total	mgP/L	0.69	-	-
Magnesio	mg/L	8.86	-	250
Sulfatos	mg/L	147.11	1,000.00	1000
Cloruros	mg/L	34.24	500.00	-
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	284.50	-	-
Carbonatos	mg CaCO ₃ /L	-	-	-

Fuente: laboratorio LASMAF y laboratorio de Ingeniería Ambiental

El resultado mostrado en la tabla anterior indica que el tipo de agua característico de un agua dura, en base a las características mostradas, según el Organismo Mundial de la Salud (Guía para la calidad de agua potable – OMS, 2005) es agua dura si sobrepasa los 200 mg/l CaCO₃. La dureza deriva de la presencia de Calcio y Magnesio, para el agua de pozo son 99.2 mg/l y 8.86 mg/l respectivamente, además tiene bajas concentraciones de metales pesados los cuales no son inhibidores de la fermentación.

3.4 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

a. Ubicación

El lugar donde se recolectó y mezcló los residuos de excretas fue llevado a cabo en el área de desmonte dentro del Parque Zoológico de Huachipa.

b. Materiales

- Carretilla
- Pala
- Machete
- Bolsas de 20cm x 30cm
- Bolsas Ziploc
- Cubierta de Plástico de 3m x 3m
- Mandil
- Guantes de jebe
- Mascarillas
- Botas de jebe
- Escoba

c. Procedimiento

Previo a la recolección de los residuos se les otorgó bolsas a las diferentes zonas de estudio. La recolección se llevó a cabo el día 19 de octubre entre las 8 am - 11 am, se siguió el mismo procedimiento de la caracterización de los residuos de las excretas y se transportó con carretillas al área de desmonte, un área que se encuentra colindante con el Bosque de

Aves, en la parte derecha de la cabecera del canal de regadío que pasa por el Parque zoológico. Véase Figura 12.



Figura 12: Homogenización y selección de muestras

En la figura se muestra a) combinado y homogenizado de la mezcla 1 (excretas de la zona sabana, africana y el felinario) y corte con machete de restos de comida; b) combinado y homogenizado de la mezcla 2 (zona granja); c) método de cuarteo para sacar muestra representativa y d) embolsado de las muestras de los tres tipos de mezclas (mezcla 1; mezcla 2 y; mezcla 1+mezcla 2) para llevar a la UNALM.

Dentro del área de desmonte, en un lugar limpio y a campo abierto, lejos de los animales y personal se realizó las mezclas de acuerdo al planteamiento de la investigación. Encima de un plástico para no mezclar los residuos de las excretas con tierra y piedras se preparó tres mezclas con ayuda de una pala, una de las mezclas consistió en combinar los residuos de las excretas y los restos de los alimentos de las diferentes áreas de las zonas: el felinario, la sabana y la africana; la segunda mezcla fue solamente de las diferentes áreas de la zona de la granja, y finalmente la tercera mezcla fue la combinación de las dos mezclas anteriores.

Los restos de los alimentos recolectados tales como alfalfa fresca, heno de alfalfa, restos de frutas se cortaron en trozos pequeños con un machete.

Luego de finalizar las mezclas, se recogieron muestras de 6 – 7 kg con la técnica del cuarteo – una adaptación de la NTP 339.089:1998 Suelos, Obtención en laboratorio de muestras representativas – con la finalidad de obtener una muestra representativa que tenga las mismas características físico-químicas de toda la mezcla. La técnica del cuarteo es una operación manual que consistió en homogenizar toda la mezcla, luego formar una pila en forma de cono y esparcirlo hasta tener una forma circular plana, esta última se dividió en cuatro partes iguales en forma de una cruz, las dos partes diagonalmente opuestas se retiran y las dos partes que sobran se vuelven a mezclar y formar un nuevo cono, así sucesivamente hasta obtener una muestra representativa.

3.5 ELABORACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS

Para poder generar los microorganismos benéficos se utilizó ingredientes y concentraciones que se describe a continuación (Meza, 2011 citado por Cárdenas, 2012).

a. Materiales

- Col fresca (relación 1:1 con agua pura o hervida)
- Agua que no contenga cloro, de preferencia pura o hervida (relación 1:1 con col fresca).
- Sal 5%
- Hígado de cerdo o vacuno 10%
- Melaza 10%

La relación de porcentajes es en peso/peso. Los ingredientes se mezclan en un bidón hermético de 20 galones, el cual posee una llave de paso para la toma de muestra- se debe controlar el pH, inicialmente se encontrará neutro, al pasar los días se debe obtener un pH ácido cercano a 3.

b. Procedimiento

En primer lugar se acondiciona el bidón de 20 galones con tapa hermética con una llave de paso de ½”, esto permitirá coleccionar la muestra para tomar datos de pH conforme pasen los días hasta llegar al pH óptimo.

Se compra 20 kg de col, se procede a cortarlo y partirlo en trozos pequeños con la ayuda de picos, palas o cuchillos grandes, se mezclan con los 4 kg de hígado en trozos y se agrega 4 kg de mezcla, se entremezclan bien y se dispone en el bidón. Se toma 20 litros de agua de mesa y se disuelven 2 kg de sal, se vacían la mezcla en el bidón, se homogeniza bien para luego tapar el bidón herméticamente.

Se controló diariamente el nivel de pH para verificar que se vaya reduciendo hasta valores de 4, según Madigan et al.,2004 citado por Cárdenas, 2012 el pH adecuado para los *Lactobacillus sp.* es el 4, pues son capaces de crecer en este medio; además la producción de ácido láctico genera un ambiente ácido, que inhibe el crecimiento de bacteria patógenas.

3.6 PRETRATAMIENTO TIPO ABONO BOKASHI

a. Ubicación

El lugar donde se realizó el pre tratamiento de las muestras tipo Bokashi, recogidas del Parque zoológico, fue en los exteriores del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM.

b. Materiales

- 1 balde de 3 l
- 1 probeta de 1000 ml
- Solución de microorganismos Benéficos (MB)
- Mandil
- Guantes de jebe
- Mascarillas

c. Procedimiento

Para elaborar el pre tratamiento tipo abono bokashi se recogió muestras de la recolección previa que se hizo en el Parque Zoológico y se llevó a la Universidad Nacional Agraria La Molina, y se le agregó los microorganismos benéficos (MB), preparados y ofrecidos por el Dr. Meza, a los cuales se los mantuvo removiendo continuamente. Véase Figura 13.



Figura 13: Aplicación de los Microorganismos Benéficos a las muestras

En la figura se muestra a) los 3 tipos de mezclas, un balde y una bureta de 1 litro con los MB; b) corte de los restos de excretas en dimensiones pequeñas para determinar la humedad de las excretas en el laboratorio y c) pesaje de las muestras en una balanza digital para medir la humedad

Las muestras representativas fueron llevadas en bolsas de colores a la Universidad Nacional Agraria La Molina, a las espaldas del Laboratorio de Ingeniería Ambiental. La bolsa verde contenía la muestra de la mezcla 1, la bolsa roja la mezcla 2 y finalmente la bolsa amarilla la combinación de las mezclas anteriores. Véase Figura 13. Para preparar el abono Bokashi, a cada uno de las muestras se les agregó la solución que contenía los Microorganismos

Benéficos (MB), esta solución fue preparada por el Doctor Victor Meza, de la facultad de Ciencias de la UNALM.

Según el Dr. Meza la humedad de las muestras con los MB debían de estar alrededor de 60%, por ello se determinó primeramente la humedad de la muestra, y en base a ello se empezó a agregar la cantidad necesaria a las muestras, luego se homogenizó las muestras con los MB dentro de la misma muestra y se las dejaba reposar por 2 – 3 días, durante 2 semanas, luego se agregaba los volúmenes de MB hasta que permanecieran en la misma condición que al inicio de la homogenización. La muestra que requirió mayor volumen de MB fue la muestra de la mezcla 2 (zona de granja), el cual poseía una contextura muy seca.

3.7 CARGA DE LOS BIODIGESTORES

3.7.1 CÁLCULO DE LA CARGA DE LOS BIODIGESTORES

Para la presente investigación se utilizará el porcentaje de materia seca para calcular la carga del sustrato para cada digestor.

Se ha calculado la cantidad de material orgánico en los biodigestores, tomando en cuenta un porcentaje de materia seca de 5%, porcentaje similar al que usa un biodigestor semi-continuo de mangas de PVC, económico y de fácil instalación para las comunidades.

Según Schlaefli (2010), la siguiente formula nos permite calcular la cantidad de sustrato necesario para obtener el porcentaje sólido deseado.

$$Kg \text{ Sustrato} = \left(\frac{ST * 100}{\% \text{ Materia seca}} \right)$$

Donde:

ST: representa la cantidad necesaria de sólidos totales en el biodigestor, que fue del 5% del volumen útil del reactor.

El porcentaje de materia seca se calcula realizando un cálculo de resta entre el 100% de la humedad menos el porcentaje de humedad determinado en laboratorio, según la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Materia seca} = 100\% - \% \text{ Humedad}$$

$$\% \text{ Materia seca. mezcla1} = 100\% - 57.81\%$$

$$\% \text{ Materia seca. mezcla1} = 42.19\%$$

Según los resultados de los análisis las mezclas de los residuos tienen una humedad variante, la mezcla 1 tiene una humedad de 57.81%, la mezcla 2 contiene 53.29% y la combinación de la mezcla 1 + mezcla 2 contiene 49.99%. Por tanto el porcentaje de materia seca de las muestras es de 42.19%, 46.71% y 50.01% respectivamente.

El volumen de los biodigestores tipo batch fue de 500 ml; sin embargo, se debió dejar un volumen extra de 20% para que se pueda producir el gas, además el volumen útil que se tomará para cargar al reactor con la mezcla del sustrato y agua debe ser un 80% del volumen del biodigestor. El volumen útil tomado fue de 500 ml, esta medida se tomó debido a que las botellas para el biodigestor tienen un volumen mayor a los 500ml, por tanto el 20% de volumen extra para la fase gaseosa es compensado por este volumen.

La presente investigación trabajó con un 5% de Sólidos totales, este 5% debe de estar contenido dentro del volumen de la mezcla en el biodigestor.

La cantidad de la muestra requerida para el proceso de biodigestión se determinó del siguiente modo.

$$\text{Gramos de materia seca} = \text{Volumen útil} * 5\%$$

$$\text{Gramos de materia seca} = 500 \text{ ml} * 5\%$$

$$\text{Gramos de materia seca} = 25\text{g}$$

Reemplazando los valores en la ecuación modificada dada por Schaepli, se tiene lo siguiente:

Para la mezcla 1.

$$\text{Gramos de Sustrato} = \left(\frac{25 * 100}{42.19} \right)$$

$$\text{Gramos de Sustrato} = 59.26 \text{ g}$$

Para la mezcla 2.

$$\text{Gramos de Sustrato} = \left(\frac{25 * 100}{46.71} \right)$$

$$\text{Gramos de Sustrato} = 53.52 \text{ g}$$

Para la combinación de la mezcla 1 + mezcla 2.

$$\text{Gramos de Sustrato} = \left(\frac{25 * 100}{50.01} \right)$$

$$\text{Gramos de Sustrato} = 49.99 \text{ g}$$

En base las ecuaciones anteriores, la cantidad de restos de excretas que se utilizó para el tratamiento de las diferentes mezclas fue diferente: para la mezcla 1 se utilizó 59,26 g; para la mezcla 2 se utilizó 53,52 g; para la combinación de la mezcla1 + mezcla2 se utilizó 49.99g.

3.7.2 CARGADO DE LOS BIODIGESTORES

a. Materiales

- Balanza
- Pistola de Silicona
- Barras de silicona
- Plástico de 3m
- Baño María
- Agua destilada
- Agua blanda

- Guantes de látex
- Mandil de laboratorio
- Tijeras de hojalatero

b. Procedimiento

La preparación para la carga de los biodigestores se realizó dentro de las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Inicialmente los reactores y los sistemas correspondientes para la determinación del biogás y el metano fueron rotulados con la finalidad de diferenciar los tres tipos de tratamientos y la repetición. Para ello se utilizó plumones indelebles y se les marcó como muestra 1, para la mezcla 1; muestra 2 para la mezcla 2, y muestra 3 para la mezcla 1 + mezcla 2. Además cada tratamiento tuvo dos repeticiones.

Las muestras de cada uno de las mezclas (mezcla 1, mezcla 2 y mezcla 1+mezcla 2) pre-tratadas con bokashi, de hoy en adelante tratamiento 1, 2 y 3 respectivamente, fueron recolectados en bolsas ziploc; luego llevados al Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Previo a la carga inicial se desmenuzó las excretas con una tijera de hojalatero se cortó en trozos de aproximadamente 1 cm los residuos de los alimentos; como restos de heno, cáscaras de piña, caña entre otros que aún permanecían sin degradarse, los cuales se encontraban entre las mezclas previamente preparadas en el abono bokashi, como se puede ver en la Figura 14.

El agua que se utilizó para diluir la muestra dentro del biodigestor fue el agua de pozo del parque zoológico, el agua se trajo en un bidón de 20 L de capacidad. Esta agua fue analizada y como resultado se obtuvo que es un tipo de agua dura, según el Organismo Mundial de la Salud (Guía para la calidad de agua potable – OMS, 2005).

Los tratamientos que se realizaron en la presente investigación no se utilizaron inóculos, pues según Palomino citado por Torres (2013), se le debía de agregar un inóculo de 10 a 15% del volumen útil del reactor. Se tomó la decisión de no agregar el inóculo para conocer su proceso de degradación sin necesidad de los inóculos.



Figura 14: Preparación de las muestras para cargar en el reactor

En la figura se muestra a) bolsas con las mezclas 1, 2 y 3; b) recojo de muestras de 1kg en bolsas ziploc de cada mezcla; c) corte de restos de alimentos y excretas en tamaños menores de 1 cm; y d) muestras desmenuzadas de las mezclas para poder ser pesadas e introducidas en los reactores.

Las mezclas evaluadas fueron pesadas en una balanza electrónica, cada mezcla de acuerdo al cálculo de carga de los biodigestores mencionados en el ítem 3.2.5, luego se introdujo dentro de los reactores de 500 ml, las cuales previamente fueron rotulados, y se los llenó con agua de pozo traídos del parque zoológico hasta el nivel de 500 ml. Cuando se terminó de llenar todos los biodigestores con las respectivas muestras y agua, se midió el pH utilizando un potenciómetro y un agitador magnético. Finalizado la medición se sellaron los reactores con el tapón de jebe, seguidamente se le aplicó silicona y; finalmente se les aseguró con unos precintos para que pudieran mantenerse herméticamente cerrados y no haya fuga de gases.

Una vez realizado el sellado de los biodigestores se procedió a sellar todo el sistema, tanto para la medición del metano y del biogás. Finalmente se introdujo los biodigestores dentro del baño maría, luego se llenó de agua blanda hasta por encima del nivel de contenido de los reactores. Véase la Figura 15.

La carga inicial de los reactores se llevó a cabo el día 13 de Noviembre, el proceso de biodigestión tuvo una duración de 52 días. Todo el proceso estuvo regulada por el baño maría a una temperatura de 35 °C. Según la investigación de Sebola et al., 2015, encontró que la mayor calidad de metano se encuentra cuando se trabaja con temperaturas de 35°C, sin embargo cuando se trabaja con temperaturas termofílicas la calidad se va reduciendo. Debido a la evaporación se tuvo que agregar agua blanda dentro del baño maría cada 2 a 3 días.

En la Figura 15 se muestra la instalación de los reactores al baño maría. En el baño maría se introdujo los reactores con carga orgánica dentro de ellas, luego se acomodó los dos sistemas de medición tanto para el metano como para el biogás.

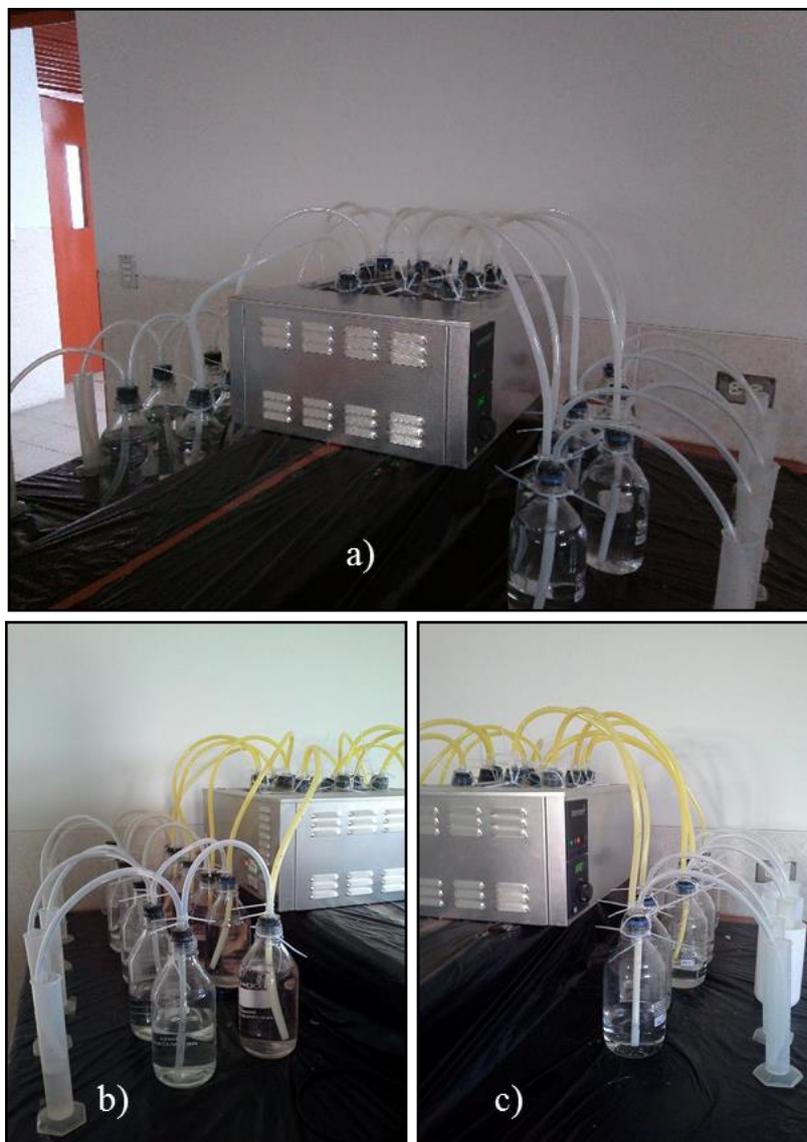


Figura 15: Cargado de los reactores dentro del baño maría y el armado para la medición de metano y biogás

En la figura 15 se muestra a) el cargado de los reactores en el baño maría; b) sistema de medición del metano (el sistema tiene una botella adicional de NaOH para atrapar el CO₂); y c) sistema de medición del biogás.

3.8 LEVANTAMIENTO DE LOS DATOS Y TOMA DE MUESTRAS

Los parámetros de medición fueron el volumen de metano y de biogás; análisis microbiológicos y de los nutrientes del biol.

Los parámetros como el pH y la temperatura no fueron posibles medirlos porque el reactor era un sistema batch sellado herméticamente. Sin embargo, aunque la temperatura no fue posible medirlos directamente, los reactores se encontraban en un medio regulado por el baño maría a una temperatura de 35 °C.

- **Materiales:**
 - Libreta de apuntes
 - Lapicero
 - Computador
 - Botellas de plástico de 625 ml de primer uso

a. Volumen de metano y biogás

Para determinar el volumen de metano y biogás, se realizó mediante el desplazamiento de agua (véase ítem 3.2.1). Este volumen de agua era recolectado en probetas de 100 ml. El volumen era medido y anotado en una libreta diariamente durante todo el proceso de investigación para finalmente ser transcritos a un computador.

El volumen de agua inicial del desplazamiento era menor al volumen total de biogás producido, por tanto se inyectaba agua ácida continuamente dependiendo de la cantidad agotada.

El volumen de biogás y metano fueron medidos durante 52 días. Según Drosig et al (2013) todo el proceso de producción de los gases debería durar entre 20 a 30 días, o debería tomar

por concluido cuando la producción diaria de gas es menor al 1% del volumen total, sin embargo, el tiempo de medición de los volúmenes de los gases duró mucho más debido a que el volumen de biogás continuaba produciendo, a pesar de que la producción diaria del gas metano de los tratamientos era mínima o nula.

Finalmente los volúmenes medidos fueron convertidos a Condiciones Normales (CN) a 0 °C de temperatura y 760 mmHg de Presión. El volumen de biogás seco se medirá restando el contenido de vapor de agua en biogás producido a partir del volumen bruto del biogás mediante el uso de la siguiente ecuación de gases ideales, de acuerdo a la guía VDI 4630, 2006 – Procedimiento Estándar de Alemania (Nusrat y Dido, 2014).

$$V_o = \frac{V \cdot (760 - P_w) \cdot T_o}{P_o \cdot T}$$

Dónde:

V_o : Volumen de gas medido a temperatura y presión estándar.

P_o : presión a condiciones normales (760 mmHg).

V : Volumen de gas medido a temperatura T (°K).

T : Temperatura ambiente (°K).

T_o : Temperatura a condiciones normales (273°K).

P_w : Presión del vapor del agua como una función de la temperatura (mmHg).

b. Análisis microbiológico del biol

Los análisis microbiológicos que se realizaron en el biol fueron de Coliformes fecales y Coliformes totales. Para poder realizar este análisis, al final del proceso de biodigestión se extrajo un volumen de 200 ml aproximadamente del biol (fase líquida del biodigestor) en botellas de plásticos de primer uso, como se muestra en la Figura 16. El análisis microbiológico se realizó en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso.



Figura 16: Recolección de muestras de biol

En la figura se muestra a) desarmado de los reactores y sistemas de medición y b) recolección de biol en botellas de plástico de primer uso.

c. Análisis de nutrientes del biol

Las muestras para el análisis de composición química del biol fueron colectados en frascos de plásticos de primer uso de 625 ml de capacidad. Estas muestras se extrajeron de los mismos biodigestores que se obtuvieron para el análisis microbiológico, al final del proceso de biodigestión y también se extrajeron 200 ml de biol para su análisis, como se muestra en la Figura 16. Para realizar el análisis de nutrientes las muestras fueron llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes – LASPAF (UNALM).

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para probar los datos estadísticamente de los volúmenes de biogás, metano y la calidad de biogás, se planteó como un diseño de Bloques Completamente al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 2 repeticiones cada uno. Para analizarlo, los resultados del volumen diario del metano y biogás fueron separados por semanas y a cada semana se le analizó de manera separada.

Para los datos de nutrientes del biol se planteó un Diseño de Bloques Completamente al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones.

Para la validación estadística de los datos se utilizaron el Coeficiente de Variabilidad (CV), el Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia de todas las diferencias, tanto para las repeticiones como para los tratamientos; seguidamente la prueba de Tukey, en el cual se comparó los tratamientos en parejas para conocer cuál de los tratamientos es el de mejor calidad.

El coeficiente de variabilidad es un parámetro estadístico que indica, en términos porcentuales, la dispersión de una serie de datos respecto al valor medio. El valor de CV es 0 cuando no existen diferencias entre los puntos, resultando una distribución totalmente homogénea. Se tiene un rango aceptable de 0 – 30% de CV para pruebas de campo, granja, etc., para pruebas en laboratorio, invernadero, etc., se considera un rango por debajo del 20%.

Para el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey se está tomando un nivel de confianza del 95% y se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis Software (SAS).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El desarrollo de la parte experimental de la presente investigación se llevó a cabo entre el 19 de agosto del 2015 al 04 de Enero del 2016. Dentro de la caracterización se realizó acciones de diagnóstico, caracterización de los alimentos (tipo de alimentos y peso promedio), caracterización de los residuos de excretas dentro de las instalaciones del Parque Zoológico, posteriormente las muestras fueron llevadas a la Universidad Nacional Agraria La Molina para los respectivos análisis y para cargar al biodigestor. Finalmente se evaluó todo el proceso de biodigestión ejecutados dentro de los reactores para la determinación de la calidad de biogás y biol.

Los resultados que se presentan a continuación están relacionados de forma directa a los objetivos planteados para la presente investigación.

4.1 CARACTERIZACIÓN

La caracterización consistió primeramente en ejecutar un diagnóstico de los residuos que se generan, y en base a ello diferenciar el tipo de alimentación de los animales seleccionados para el estudio y averiguar cuanto de residuo generan diariamente. Los residuos son mezclas de excretas con residuos de alimentos de los animales que quedan en sus dormitorios y las áreas donde se esparcen. La información de la dieta de los animales en estudio fue brindada por la Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa y el área de cuidado de los animales de la zona de “la granja”.

4.1.1 DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE RESIDUOS EN EL PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA

El área de diagnóstico se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Parque Zoológico de Huachipa, distrito de Ate Vitarte, Lima.

Con la finalidad de poder conocer el manejo de los residuos y las actividades habituales se realizó un diagnóstico general mediante la observación directa e información brindada por parte de la jefa de fauna del Parque Zoológico, Lizzet Bermúdez; Ing. Michael Tello e Ing. Werner, los cuidadores de los animales y el personal de limpieza entre otros, quienes fueron las personas ideales para entender todo el proceso de manejo de los residuos.

A continuación se presenta de forma detallada el diagnóstico desde la generación hasta la disposición final de los residuos en base a la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

a. Generación, Segregación y Manejo en fuente

La generación de los residuos sólidos en el Parque Zoológico de Huachipa se producen principalmente por dos fuentes, la primera y la mayor fuente son los residuos sólidos generados por los visitantes, y la segunda fuente son producidos por los propios animales del zoológico, la presente investigación se centrará en esta última fuente. Véase Figura 17 y Figura 18.



Figura 17: Generación y recojo de los residuos de excretas en la zona la granja

En la figura se muestra a) área de los ponis; b) área de las ovejas Black Belly; c) limpieza del área de las ovejas criollas; y d) área de las vicuñas) camélidos.



Figura 18: Generación y recojo de los residuos de excretas en la zona felinario, africana y sabana

En la figura anterior se muestra a) limpieza del dormitorio de los tigres; b) dormitorio de los osos; c) limpieza del área de los dromedarios; y d) área de la sabana propiamente dicha.

Los residuos generados por los animales se encuentran dentro de los dormitorios y de las áreas de esparcimiento, véase Figura 17 y Figura 18. La segregación in situ es muy complicada en las diferentes áreas, debido fundamentalmente a que las excretas frescas (húmedas) de los animales y los restos de los alimentos que muchas veces se encuentran esparcidas o desmenuzadas se entremezclan lo que hace difícil la separación entre ellas.

Los cuidadores quienes alimentan a los animales son quienes realizan la limpieza de las áreas, véase Figura 17 y Figura 18, la limpieza se efectúa durante las primeras horas de la mañana, entre las 8 a.m. y las 11 a.m. Los residuos son barridos y recogidos en bolsas negras, baldes o carretillas.

b. Recolección y transporte interno

Luego del recojo en las bolsas por parte de los cuidadores, existen diferentes formas de recolección y transportarlos a las áreas de almacenamiento dentro del Parque Zoológico de Huachipa. Los cuidadores de la zona del felinario y la sabana son quienes llevan mediante carretillas las bolsas de residuos a la zona de acopio principal, el cual es un espacio abierto al final de la playa 2, véase Figura 19.



Figura 19: Transporte interno en el Parque Zoológico de Huachipa

En la figura se muestra a) transporte de restos de excretas de la zona del felinario hasta el área de almacenamiento principal; b) transporte de residuos de las zonas de acopio temporal hasta las zonas de acopio principal.

Los cuidadores de la granjas recolectan y transportan directamente los residuos hasta áreas de tratamiento incipientes (sólo dejan al aire libre para q por sí misma la materia orgánica se degrade) y la zona africana recolectan todas las bolsas de residuos y transportan hasta una zona de acopio de residuos temporal (ubicada detrás de la puerta que está entre el área de

canguros y la entrada al bosque de aves). Finalmente en temporadas bajas (baja afluencia de visitantes) el personal de limpieza transporta los residuos desde las zonas de acopio temporal hasta la zona de acopio principal, que se encuentra en la playa 2 del Parque Zoológico de Huachipa.

c. Almacenamiento

Los áreas de almacenamiento son espacios a campo abierto donde las bolsas recolectadas de los dormideros son transportados a estas zonas de acopio. Una de ellas es la zona de acopio de residuos temporal, el cual se menciona en el ítem anterior; esta zona almacena todos los residuos generados por los animales, por los visitantes (recolectados de los tachos de basura) y entre otros. Generalmente en esta zona se almacena por dos a tres días, dependiendo de la cantidad de residuos luego se transporta mediante carretas a la zona de acopio principal que se encuentra en la parte final de la playa de estacionamiento 2, véase Figura 20. La zona de acopio principal es el lugar donde se traslada todos los residuos generados en todo el Parque Zoológico, excepto los desmontes; pues los camiones de basura, generalmente, toman toda la basura de este lugar. Finalmente la zona de acopio de desmonte es la tercera zona de acopio de residuos, esta zona es muy amplia y se encuentra ubicada al margen derecho del bosque de aves, en la parte superior del Parque Zoológico, a esta área se le acumula de desmonte, poda de césped y árboles, artículos y productos en desuso, etc. En la Figura 20 se muestra algunas de las zonas de acopio.



Figura 20: Áreas de almacenamiento

En la figura se muestra a) zona de acopio temporal; b) zona de acopio de desmonte; c) descarga de residuos en la zona de acopio principal; y d) recolección y transporte de residuos de las zonas de acopio temporal.

d. Transporte y disposición final

El Parque Zoológico de Huachipa tiene un contrato con la municipalidad de Ate Vitarte para que pueda recoger los residuos que se encuentran en la zona de acopio principal mediante los camiones de basura. El Parque Zoológico da el aviso al camión de basura para que pueda recogerlo cuando la cantidad de residuos es cuantioso, dependiendo de la temporada de visitantes se puede recoger diariamente o de 2 a 3 días. La Municipalidad de Ate menciona que todos los residuos municipales son llevados al relleno sanitario de Huaycoloro.

e. Tratamiento dentro del Parque Zoológico

El tratamiento de los residuos actualmente solamente se da a nivel incipiente y en una cantidad irrisoria, este tratamiento consiste en producción de compostaje con las excretas de ovejas en la zona de la granja. Esto se da con una finalidad pedagógica a los niños quienes visitan esta zona. Otro tratamiento de los residuos de las granjas es llevar a las cabeceras del zoológico y dejarlo al aire libre para que por sí misma se degrade y forme un compost incipiente, luego al cabo de unos meses intentan sembrar alguna legumbre o maíz. Aunque

actualmente no existe un tratamiento de mayor escala de residuos de las excretas de los animales dentro del Parque Zoológico, no obstante hace unos años se tuvo la idea de poder manejar estos residuos mediante la producción de compost, pero debido al mal manejo y la falta de personal se abandonó el proyecto, véase Figura 21.



Figura 21: Diferentes formas de tratamiento dentro del Parque Zoológico de Huachipa

a) abandono del tratamiento de excretas a mayor escala (compost); b) compostaje a escala pequeña para fines pedagógicos.

4.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS EXCRETAS

En base a la información recolectada por el diagnóstico del manejo de residuos, se propuso realizar la investigación centrado en aquellos animales quienes producían mayor cantidad diaria de excretas, finalmente todos estos animales fueron agrupados en cuatro (4) zonas: zona de granja, la zona africana, zona del felinario y zona de la sabana. Esta agrupación de zonas se realizó en base a la responsabilidad que tienen los cuidadores de animales de cada una de las áreas, es decir ya existía un grupo de cuidadores que se encargaban de la limpieza y alimentación de los animales para cada una de estas zonas. En la Figura 22 se puede ver algunas actividades que se realizaron en el proceso de caracterización.



Figura 22: Actividades de caracterización de restos de excretas dentro del Parque Zoológico de Huachipa

En la figura se muestra a) pesaje de los restos de excretas de las ovejas Black Belly; b) recolección de los restos de las excretas de la zona la granja; y c) recolección y pesaje de los restos del tapir.

A continuación se presenta la Tabla 14 con los pesos que se tomó en cuenta durante los ocho días, sin embargo, no se tomó en cuenta el primer día, porque se desconoce la cantidad exacta de residuos acumulados. El pesaje se realizó durante las fechas del 19 de Agosto al 26 de Agosto del año 2015.

Tabla 14: Resultado del pesaje de la caracterización de los residuos de excretas

Día de medición	Zona 1 - La granja		Zona 2 - Zona africana (kg)	Zona 3 - El felinario (kg)	Zona 4 - La sabana	
	Granja p.d. (kg)	Camélidos (kg)			Sabana p.d. (kg)	Tapir (kg)
Día 1	47.50	12.00	34.00	23.50	16.50	7.00
Día 2	38.00	13.00	26.00	14.50	17.00	5.50
Día 3	48.00	13.00	23.50	24.50	28.75	8.00
Día 4	54.00	11.50	23.00	24.25	26.00	12.50
Día 5	28.00	18.25	34.00	17.50	17.50	6.75
Día 6	28.25	19.50	46.50	16.75	15.50	10.50
Día 7	52.00	14.25	32.75	24.75	31.50	6.00
Promedio Total	42.25	14.50	31.39	20.82	21.82	8.04
Porcentaje (%)	40.88		22.61	15.00	21.51	

FUENTE: Elaboración propia

En la zona de la granja, los residuos se caracterizaban por contener principalmente excretas y restos de alimentos. Durante la caracterización, se procedió a diferenciar dos grupos, una de la granja propiamente dicha (granja p.d.) (Ovejas, cabras, vaca y ponis) y los camélidos (alpaca, llama y vicuña). Los pesos de los camélidos, 14.5 kg/ día, fueron muy inferiores a los de la granja p.d., 42.25 kg/ día, principalmente por la cantidad de animales que poseían cada área, en el ítem 4.1.3 se detalla el número de especies de cada zona y área. En porcentaje, la zona de la granja representa casi la mitad de toda la producción de excretas en estudio, representando el 40.88% de un promedio total de producción de excretas de 138.82 kg.

En la zona africana se encontró principalmente excretas de los animales que vivían en ella, residuos de alfalfa y heno de alfalfa; la producción diaria promedio fue de 31.39 kg, el cual representa el 22.61% del total de producción.

En la zona del felinario, los osos fueron los que producían mayor volumen de toda la zona, las excretas permanecían combinadas junto con los residuos de frutas; las excretas de los felinos (tigres blancos, leones, pumas, otorongos) estaban combinadas con los huesos, y su producción diaria de excretas era la tercera parte del peso que generaba los restos de huesos;

sin embargo, sus excretas emanaban un olor muy fétido en comparación a todas las demás excretas. La zona del felinario produce un promedio diario de residuos de excretas de 20.82 kg, el cual representa el 22.61%.

En la zona de la sabana, se podía diferenciar dos áreas de recolección de residuos; una es el área de las Sabana propiamente dicha (Sabana p.d.), en ella predominaba excretas de cebras, jirafas y avestruz, alfalfa fresca y los pellets de concentrados de herbívoros, la producción diaria promedio fue de 21.82 kg. En el área de los tapires, el cuidador recolectaba exclusivamente las excretas, las cuales se encontraban esparcidas dentro del pozo de agua y alrededor de ella, los residuos de su alimento que generalmente quedaba en su dormitorio eran sacados una vez a la semana, el peso diario promedio era de 8.04 kg. Dentro de la zona de la sabana, los residuos que se producen en cantidad considerable son las pajas de arroz, los cuales se encuentran dentro del área del dormitorio de las jirafas, la cual se limpia y se desechan dos veces por semana, sin embargo estos residuos no fueron tomadas en cuenta dentro de la caracterización, el porcentaje de esta zona sin tomar en cuenta la paja de arroz representa el 21.51% de la producción diaria total de residuos de excretas recolectados.

4.1.3 TIPO DE ALIMENTACIÓN

Para poder conocer el tipo de alimentación, existen dos áreas específicas dedicadas a este tema, la Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa y el área de cuidado de la zona de la granja p.d., esta última se dedica exclusivamente a los animales del área de la granja propiamente dicha. Cada una de estas áreas se encarga de indicar la cantidad de alimento que deben de consumir en base a la edad, ciclo de vida y estado de salud.

Las actividades que se realizan habitualmente son las siguientes; para todos los animales del zoológico excepto para la granja propiamente dicha (p.d.), la alimentación está prescrito por la Unidad de Alimentación del PZH, los encargados de la cocina son los que preparan de acuerdo a lo prescrito para cada especie, y los cuidadores de los animales son los que llevan estos alimentos a las respectivas áreas, véase la Figura 23. Para los animales de la granja p.d. el ingeniero encargado de la alimentación indica a los cuidadores el tipo de alimentación que

se le dará semanalmente, el almacén y preparación de alimentos son manejados por los propios cuidadores (Figura 24). Los animales pueden alimentarse una (como la zona de la granja) o dos veces por día (como la zona africana, zona de sabana), o estar en ayunas una vez por semana (como los felinos), dependiendo de la especie, estado fisiológico (edad) o estado de salud.



Figura 23: Área de cocina del Parque Zoológico de Huachipa

El gráfico muestra a) almacenamiento de los alimentos en la cocina (la cocina es el lugar donde se prepara los alimentos que incluyen frutas, verduras y carnes); b) preparación de los alimentos balanceados (carnes) para la zona del felinario; c) alimentos preparados para los monos; d) alimentos preparados para los osos.



Figura 24: Áreas de almacén del heno

a) Área de almacén de heno y alfalfa para la zona de la granja; b) área de almacén de heno para los dromedarios.

La zona de la granja estuvo conformado por tres (3) ovejas criollas, 18 ovejas Black Belly, dos (2) ponis (caballos de pequeña estatura), una (1) vaca y tres (3) cabras, además de camélidos americanos: tres (3) llamas, tres (3) alpacas y tres (3) vicuñas; cada uno de ellos en diferentes áreas. La alimentación entre ellos es muy similar, varía en los porcentajes de alimentos y en algunos ingredientes. La alimentación para los camélidos americanos está dirigido por la Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa, y para los demás animales de la granja está dirigido por el área de cuidado de la granja. En la Tabla 15 se muestra un resumen del tipo y cantidad de alimentación del área de la granja propiamente dicha (p.d.).

Tabla 15: Tipo y cantidad total de ración de los animales del área de la granja propiamente dicha

Alimentación	Vaca	Oveja criolla	Oveja Black Belly	Cabras criolla	Ponis
	kg/día	Cantidad total (kg/día)	Cantidad total (kg/día)	Cantidad total (kg/día)	Cantidad total (kg/día)
Concentrado para Rumiante (pellets)	9.0	6.0	12.0	6.0	No
Heno de alfalfa	4.0	2.0	5.0	3.0	4.0
Zanahoria en trozos	No	No	No	No	2.5

FUENTE: Unidad de Nutrición de la granja.

En la tabla anterior se muestra que la cantidad de consumo diario es mayor el de la oveja Black Belly, debido a que existen mayor número de estas especies. Sin embargo, si consideramos por cada animal, la vaca es la que consume en mayor cantidad. Todos los animales consumen Concentrado para rumiante, excepto los ponis; sin embargo, éstos últimos complementan su alimentación con trozos de zanahoria.

La alimentación de los camélidos se diferencia de los otros animales de la granja principalmente por contener trozos de camote y zanahoria. Dentro de este grupo son las alpacas las que consumen en mayor cantidad, y las vicuñas en menor cantidad. Véase la Tabla 16.

Tabla 16: Tipo y cantidad de ración de los animales de las áreas de los camélidos americanos

Alimentación	Llama (<i>Lama glama</i>)	Alpaca (<i>Vicugna pacos</i>)	Vicuña (<i>Vicugna vicugna</i>)
	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)
Camote en trozos	150	300	100
Zanahoria en trozos	150	300	100
Alfalfa entero	1000	800	600
Heno de alfalfa entero	2500	2000	1500
Concentrado para herbívoros (pellets)	150	200	100

FUENTE: Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa

La zona de África está conformado por 2 dromedarios, 2 cebras, 6 canguros, 9 venados, la alimentación entre ellos es muy similar, la cual esta balanceada en base a alfalfa fresca entera, heno de alfalfa, concentrado para herbívoros (a medida o en pellets), zapallo y zanahoria en trozos pequeños.

Los dromedarios son los animales que consumen mayor cantidad de heno de alfalfa y concentrado para herbívoro, 7 kg y 1 kg diario por cada animal respectivamente. La especie que consume en mayor variedad; aunque no en cantidad, es el venado de cola blanca. Su alimentación esta balanceada por zanahoria en trozos, alfalfa fresca, heno de alfalfa, concentrado para herbívoros, camote y acelga. Véase Tabla 17.

Tabla 17: Tipo y cantidad de ración de los animales de la zona africana

Alimentación	Cebra (<i>Equus burchelli boehmi</i>)	Canguro (<i>Macropus rufus</i>)	Dromedario (<i>Camelus dromedarius</i>)	Venado de cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i>)
	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)
Zanahoria en trozos	500	No	500	100
Alfalfa fresca	100	600	No	600
Heno de alfalfa	4000	100	7000	500
Concentrado para herbívoros	750	No	1000	300
Concentrado para roedores	No	500	No	No
Zapallo	No	No	500	No
Camote	No	No	No	100
Acelga	No	No	No	125

FUENTE: Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa

La zona del Felinario está conformado por felinos: 4 tigres blancos, 2 leones, 1 puma y 3 otorongos; y osos de anteojos (8) cada especie separada en cada área. Los felinos se alimentan principalmente de carne y menudencias, la cantidad de su alimentación varía si es hembra o macho; además una vez a la semana los adultos ayunan, pero no los juveniles.

Los tigres blanco machos y el león macho son los que se alimentan en mayor cantidad a diferencia de los demás felinos; 9.32 kg y 7.53 kg de carne y menudencias al día (el león no come menudencias, ni corazón), es la ración promedio diario de cada uno respectivamente, y el de menor ración promedio diaria es de los otorongos, 2.68 kg. Véase la tabla 18.

Tabla 18: Tipo y cantidad de ración diaria de los felinos

ANIMAL	Tigre blanco hembra (<i>Panthera tigris tigris</i>)		Puma (<i>Puma concolor</i>)	Leon (<i>Panthera leo</i>)		Otorongo (<i>Panthera onca</i>)
	Hembra	Macho		Macho	Hembra	
	Cant. prom. c/animal (kg/día)	Cant. prom. c/animal (kg/día)	Cant. prom. c/animal (kg/día)	Cant. prom. c/animal (kg/día)	Cant. prom. c/animal (kg/día)	Cant. prom. c/animal (kg/día)
Caballo	2.58	3.81	1.05	4.55	2.61	1.53
Pollo	2.78	3.81	0.48	2.18	2.13	0.55
Menudencia	0.53	0.60	0.45	-	-	0.20
Corazón 50%/ higado 50%	0.00	0.45	0.25	-	-	-
Pollito	0.53	0.65	0.50	0.80	0.40	0.40
Total	6.40	9.32	2.73	7.53	5.14	2.68

FUENTE: Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa

Los osos andinos (*Tremarctos ornatus*), quienes son omnívoros, se alimentan de diferentes frutas, hierbas, avena, carne, pan integral, miel. La ración de su alimentación varía entre juveniles, subadultos y adultos, los osos sub adultos y los juveniles son los que consumen en mayor cantidad, alrededor de 30% a 50% más que los adultos, a continuación se presenta la Tabla 19, en la que se detalla el tipo y cantidad de ración diaria de los osos.

Tabla 19: Tipo y cantidad de ración diaria de los osos

Alimentación	Adulto macho	Adulto hembra	Sub adulto	Juveniles
	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)
Dog Chow (entero seco)	100	80	150	135
Huevo sancochado (entero con cáscara)	50	40	100	90
Pollo, sólo carne (sancochado)	150	120	250	225
Avena sancochada (semilíquida)	1,000	800	1,000	900
Pan Integral (entero)	60	48	60	54
Miel (semilíquida)	20	16	20	18
Choclo (entero con panca)	400	320	500	450
Yuca sancochada (trozos grandes)	300	240	500	450
Caña de azúcar (trozos grandes)	300	240	350	315
Mango (trozos grandes)	350	280	450	405
Manzana (trozos grandes)	120	96	350	315
Papaya (trozos grandes)	500	400	600	540
Piña (trozos grandes)	300	240	500	450
Plátano (trozos grandes)	200	160	500	450
Sandía (trozos grandes)	500	400	600	540
Uva en racimos enteros	200	160	275	248
Total	4,550	3,640	6,205	5,585

FUENTE: Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa

La zona de la Sabana es una zona que comprende dos áreas, un área (sabana p.d.) donde conviven 2 jirafas, una cebrá y 2 avestruces, y otra área donde viven 2 tapires. Las jirafas, avestruces y las cebras tienen una alimentación similar a base de alfalfa fresca, heno de alfalfa, concentrado para herbívoros, zanahorias y zapallos en trozos. Las jirafas son las que

se consumen mayor cantidad de hierbas como el alfalfa, heno, alrededor de 9 kg diarios cada animal.

Los tapires a diferencia de los demás animales tienen una alimentación en base a yuca rayado, espinaca entera y frutas en trozos como los plátanos, papayas y manzanas; además de alfalfa fresca y concentrada para herbívoros en una presentación de pellet molidos. Véase la Tabla 20.

Tabla 20: Tipo y cantidad de ración diaria de los animales de la zona la sabana

Ingrediente	Avestruz (<i>Struthio camelus australis</i>)	Cebras (<i>Equus burchelli boehmi</i>)	Jirafa (<i>Giraffa camelopardalis</i>)	Tapir (<i>Tapirus terrestris</i>)
	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)	g/(día*unidad animal)
Alfalfa entera	1250	100	4000	1500
Alfalfa picado	700	No	No	No
Heno de alfalfa	No	4000	5000	No
Zanahoria en trozos	No	500	500	No
Zapallo en trozos	300	No	500	No
Conc. de herbívoros	No	1000 ^p	9000 ^p	400 ^{pm}
Concentrado para avestruz (pellets)	1800	No	No	No
Espinaca	350 ^p	No	No	600 ^e
Yuca rayado	No	No	No	600
Plátano en trozos	No	No	No	300
Papaya en trozos	No	No	No	800
Manzana en trozos	No	No	No	200

FUENTE: Unidad de Nutrición del Parque Zoológico Huachipa

Leyenda: *p*: picado; *e*: entero; *p*: pellet, *pm*: pellet molido.

4.2 RESULTADOS DEL VOLUMEN DE BIOGÁS Y METANO

A continuación se mostrará a detalle los resultados obtenidos durante los 52 días en los reactores y en baño maría. Para poder comparar los tratamientos, los resultados tomados

serán convertidos a Condiciones Normales (CN), es decir, a 1 atmósfera de presión y a 25 °C de temperatura.

Para poder entender y generalizar la información se tomará en cuenta:

- Mezcla 1 (zona africana, sabana y felinario), como Tratamiento 1.
- Mezcla 2 (zona de granja), como Tratamiento 2.
- Mezcla 1 + mezcla 2, como Tratamiento 3.

4.2.1 COMPORTAMIENTO DEL PH Y LA TEMPERATURA

La temperatura del biodigestor se mantuvo en el rango de temperatura mesofílico, específicamente a 35 °C, esto se logró debido al uso del baño maría. La temperatura no varió más de 1°C cuando se agregaba agua dentro del baño maría debido a la evaporación. La medición del pH no fue posible debido a que el reactor de 500 ml estuvo sellado herméticamente, lo único que se pudo corroborar fue que al inicio y al final del proceso de fermentación anaeróbico se mantuvieron dentro de un rango de pH neutro, al inicio el pH fue de 7.5 – 8 y al final el pH fue entre 7.1 – 7.5.

4.2.2 VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO

En la Tabla 21 se muestra los valores de volumen promedio semanal y el volumen acumulado semanal (resumen del volumen diario acumulado) de metano de los tres tipos de tratamientos. El volumen promedio semanal son un promedio de los volúmenes producidos diariamente durante cada semana y, el volumen acumulado semanal es la producción de biogás que se acumula semanalmente, es decir que el volumen de la semana 8 es el volumen acumulado de las 8 semanas. Se cargó al biodigestor un fin de semana (semana 1), sin embargo no se produjo ningún volumen hasta el inicio de la semana 2 (cuarto día), debido a que no se consideró el inóculo para la etapa de arranque (5 a 10% de volumen) como es mencionado por otras investigaciones, como Palomino (2007). El inóculo cumple la función de poder dar las condiciones para empezar (etapa de arranque) el proceso de fermentación anaeróbica. Además el equipo de Baño María, del cual se hizo uso para la investigación no

estuvo en funcionamiento el día de cargado. Los valores de la medición diaria de metano se encuentran en el Anexo 1.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las dos repeticiones (Bloques), durante las ocho semanas, resultaron ser de diferencias no significativas ($P > 0.05$) y con Coeficientes de Variabilidad por debajo del 20%, por lo que podemos concluir que las repeticiones fueron homogéneas. Mientras que para los tres tipos de tratamientos, durante las ocho semanas de evaluación, las varianzas fueron significativas ($P < 0.05$) y altamente significativas ($P < 0.01$), véase Anexo 7 y Anexo 8.

Tabla 21: Volumen promedio semanal de metano

Semana	Volumen Promedio Semanal			Volumen Acumulado semanal		
	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	29.95	3.40	15.83	179.71	20.41	94.96
3	10.78	21.24	17.50	255.14	169.06	217.42
4	10.78	28.97	12.04	330.57	371.84	301.73
5	12.99	24.98	14.58	421.54	546.67	403.79
6	3.04	11.28	3.42	442.84	625.65	427.75
7	1.01	5.90	1.52	449.94	666.92	438.40
8	1.50	2.72	1.00	461.92	688.66	446.39

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25 se observa el comportamiento grafico de la producción de metano en los tres tratamientos, los cuales empiezan su producción recién la segunda semana (cuarto día).

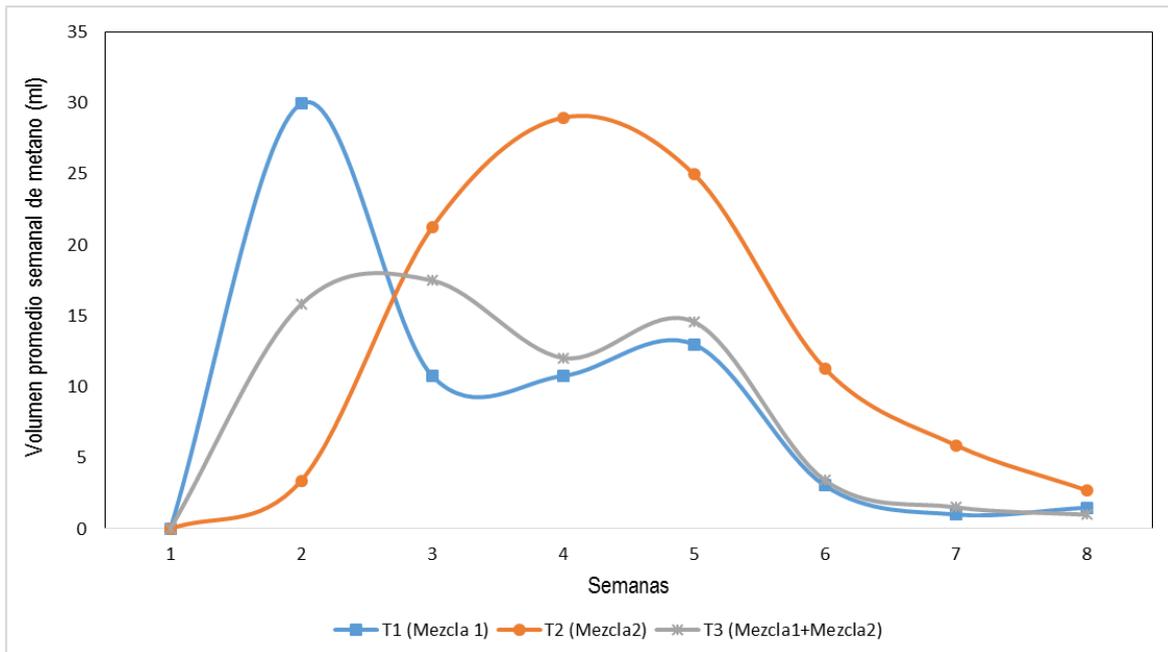


Figura 25: Volumen promedio semanal de metano a CN

El tratamiento 1 tuvo una producción exponencial de metano durante la segunda semana, llegando a producir un volumen máximo diario de 46.15 ml, véase Anexo 1. Claramente se puede ver que existen dos momentos o etapas de mayor producción (la segunda y la quinta semana) y una de baja producción de metano (entre la tercera y la cuarta semana). Se sugiere que la primera etapa de mayor producción de metano es debido al pre-tratamiento tipo bokashi lo cual reforzó a que la etapa de hidrólisis tuviera una duración corta; además, el bajo porcentaje de nitrógeno (1.25%) favorecieron que las bacterias metanogénicas tuvieran un crecimiento exponencial en el corto tiempo, produciendo altos volúmenes de metano. La etapa de baja producción fue debido a la inhibición por parte del amoníaco el cual se manifiesta debido al bajo porcentaje de materia seca (25.65%), la relación de C/N fue de 20.52.

Durante las tres últimas semanas la producción de metano se redujo drásticamente hasta niveles menores de 2 ml diarios e incluso días de producción nula, debido a que los tratamientos 1 y 3 estuvieron aproximadamente dos semanas con un pre-tratamiento aeróbico de bokashi, en el cual se degradó gran cantidad de materia orgánica y la cantidad de sustrato que quedó (bajo porcentaje en materia seca) fue consumido rápidamente por las

bacterias metanogénicas durante las primeras semanas a diferencia del tratamiento 2 que también fue sometido a pre-tratamiento tipo MB-bokashi (Tabla 21).

El tratamiento 2 tuvo una curva de producción con una etapa de crecimiento y otra de decrecimiento, aunque empezó a rendir metano exponencialmente a partir de finales de la segunda semana debido a que necesitó más tiempo para hidrolizar el alto porcentaje de nitrógeno (1.45%), tales como las cadenas largas de lignina, hemi-celulosa y celulosa que se encontraban en trozos de heno y alfalfa de la mezcla. Este tratamiento fue el que produjo en mayor volumen de metano, logrando alcanzar un máximo volumen diario de 49.7 ml en la tercera semana, además se mantuvo estable y con valores promedios superiores a 20 ml de producción hasta la quinta semana, luego de ese periodo la producción de metano decayó, no obstante fue superior a los demás tratamientos. Este resultado se debió a que el tratamiento 2 contenía un alto porcentaje de materia seca (39.31%), muy superior a los demás; por lo tanto, se necesitó un periodo más largo para degradar además de empezar el proceso un poco después de los demás.

El tratamiento 3, el cual es la mezcla de los dos primeros tratamientos empezó a producir exponencialmente durante la segunda semana, días después que el primer tratamiento empezara a producir de forma exponencial. Este tratamiento al igual que el tratamiento 1 tuvo dos momentos de producción de altos volúmenes. Durante la primera etapa el volumen máximo producido fue de 44.37ml, véase Anexo 1. Este retraso en la producción exponencial se debió a que el sustrato contenía un porcentaje de nitrógeno relativamente alto (1.30%), el cual fue superior al tratamiento 1 pero inferior al tratamiento 2; por lo que necesitó más tiempo para degradar los compuestos carbonados de cadena larga, que se encontraban en la mezcla 2 (heno, alfalfa). La etapa de baja producción de metano no fue tan abrupta como el tratamiento 1, esto fue debido a la inhibición por parte del amoníaco que se manifestó por el relativo bajo porcentaje de materia seca (31.22%) lo que se manifestó en una relación de C/N de 23.92%. Estadísticamente, el volumen promedio semanal de metano del tratamiento 3 se mantuvo sin ninguna diferencia significativa respecto al tratamiento 1, desde el inicio de la producción; aunque en la Figura 25 se muestra volúmenes promedios relativamente superiores que el tratamiento 1 desde la tercera hasta la quinta semana.

En la Figura 26 se puede apreciar el comportamiento de los volúmenes diarios acumulados de metano durante los 52 días que duró el proceso anaeróbico de los tres tratamientos producidos a CN. Los valores medidos diariamente se encuentran en el Anexo 1.

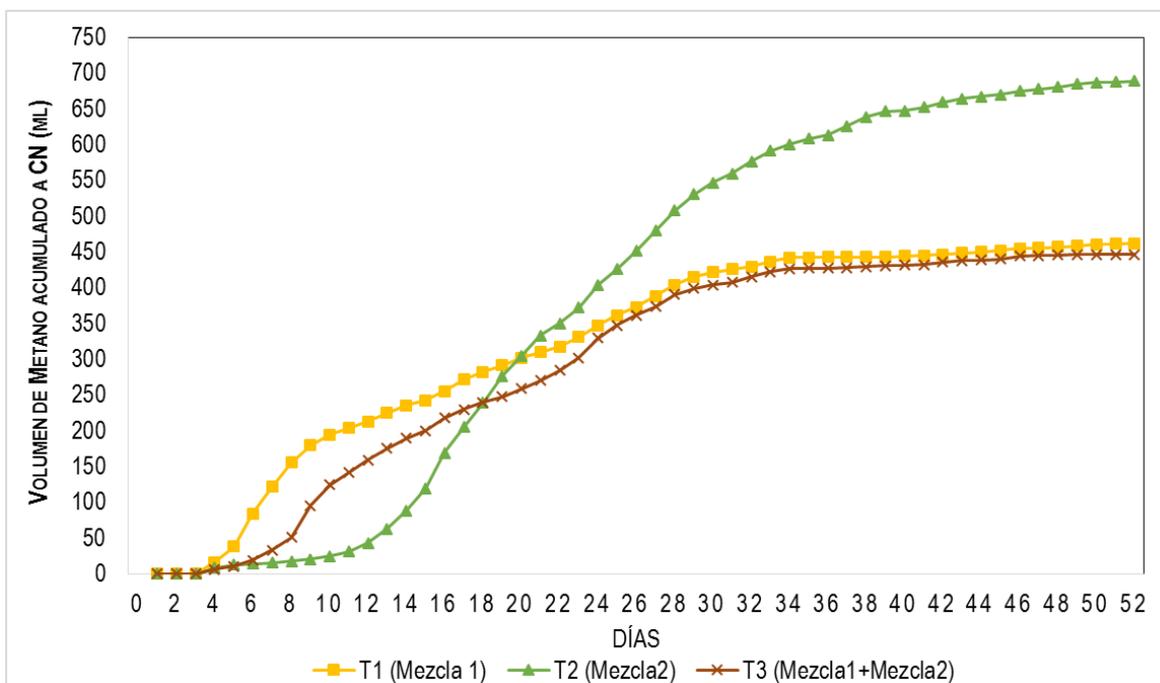


Figura 26: Volumen diario acumulado de metano a CN

La primera semana no se produjo metano. Durante la segunda semana (a partir del cuarto día), el tratamiento 1 es el que produce significativamente en mayor cantidad de metano que los demás tratamientos, llegando a acumular 179.71 ml, luego, es el tratamiento 1 (94.96 ml) significativamente superior al tratamiento 2 (20.41 ml). Durante la tercera semana, el tratamiento 1 a acumulado un volumen superior (255.14 ml) que los demás tratamientos, véase Tabla 21; sin embargo, no es estadísticamente significativo. Aunque a partir de la cuarta semana el volumen acumulado del tratamiento 2 es superior a los demás, recién a partir de la quinta semana se prueba estadísticamente que es significativamente superior a los demás tratamientos, logrando acumular un volumen final de 688.66 ml. Los tratamientos 1 y 3 no son significativamente diferente a partir de la tercera semana, véase Anexo 7, aunque el tratamiento 1 (461.92 ml) acumuló un volumen relativamente superior al tratamiento 3 (446.39 ml) hasta la octava semana.

4.2.3 VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO

En la Tabla 22 se muestra los valores de volumen promedio semanal y el volumen acumulado semanal (resumen del volumen diario acumulado) de biogás de los tres tipos de tratamientos. El volumen promedio semanal son un promedio de los volúmenes producidos diariamente durante cada semana y, el volumen acumulado semanal es la producción de biogás que se acumula semanalmente, es decir que el volumen de la semana 8 es el volumen acumulado de las 8 semanas. La producción de biogás se da a partir de la segunda semana (cuarto día) al igual que la producción de metano. Los valores de la medición diaria de biogás se encuentran en el Anexo 1.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las dos repeticiones (Bloques), durante las ocho semanas, resultaron ser de diferencias no significativas ($P > 0.05$) y con Coeficientes de Variabilidad por debajo del 20%, por lo que podemos concluir que las repeticiones fueron homogéneas. Mientras que para los tres tipos de tratamientos, durante las ocho semanas de evaluación, las varianzas fueron significativas ($P < 0.05$) y altamente significativas ($P < 0.01$), véase Anexo 9 y Anexo 10. Según Calzada, 1970, el CV debe de ser menor que el 30% para investigaciones de campo, granja, etc., y para investigaciones de laboratorio, invernadero, etc., deben de ser menor que el 20%, considerándose un máximo de 25% en casos extraordinarios.

Tabla 22: Volumen promedio semanal de biogás

Semana	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	35.02	5.86	19.95	210.12	35.16	119.71
3	41.019	30.017	39.285	497.25	245.28	394.70
4	45.50	93.58	42.99	815.77	900.32	695.65
5	48.55	86.88	52.26	1155.64	1508.49	1061.47
6	19.55	45.62	26.91	1292.51	1827.85	1249.82
7	12.14	18.00	13.75	1377.48	1953.83	1346.09
8	11.41	20.25	13.39	1468.72	2115.82	1453.24

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 se muestran los comportamientos de los tres tipos de tratamientos del volumen promedio semanal de biogás a CN respectivamente. Cabe mencionar que los reactores produjeron volúmenes mínimos hasta la última semana de medición, a diferencia de la producción de metano durante las 3 últimas semanas fue casi nula especialmente de los tratamientos 1 y 3.

Asimismo, se debe tener en cuenta que el rendimiento de volumen de biogás es mayor que el metano, debido a que éste último contiene otros gases a parte del metano (CH_4) como el dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y vapor de agua (Chungandro, 2010 citado por Bolívar y Ramírez, 2012); a diferencia del rendimiento del metano, que solo contiene ese gas.

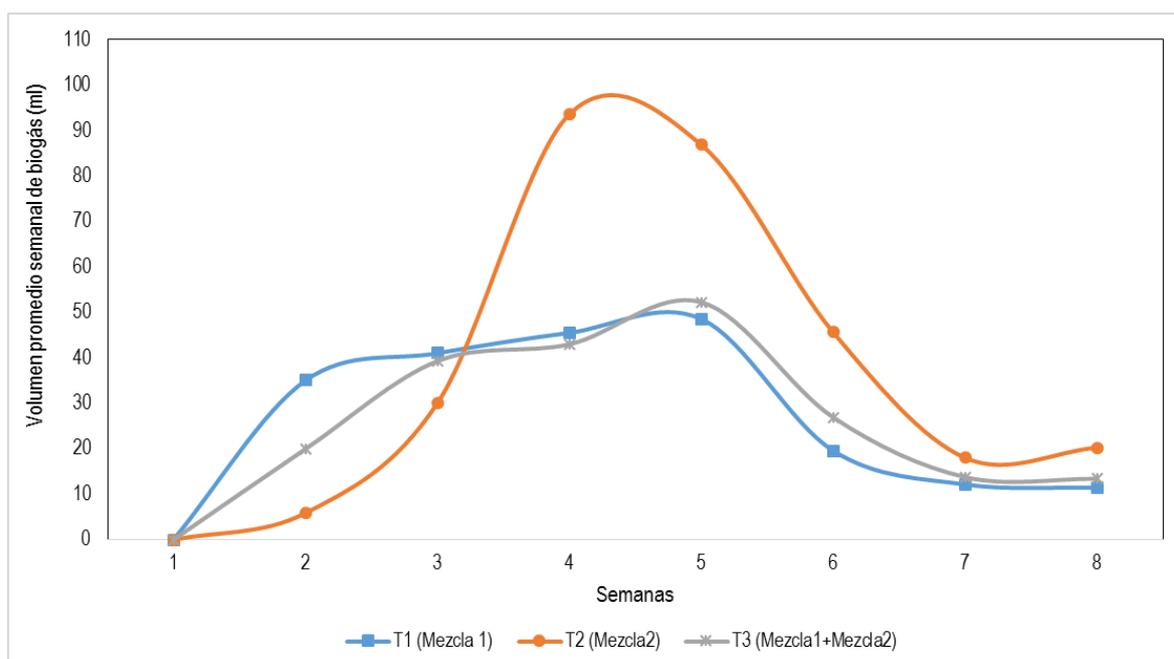


Figura 27: Volumen promedio semanal de biogás a CN

El tratamiento 1 empezó un rendimiento exponencial desde el inicio de su producción, y se mantuvo relativamente estable hasta las quinta semana, llegando a producir un volumen máximo de 64.46 ml en la semana 5. Sin embargo fue durante la primera semana que logró rendir un promedio semanal (35.02 ml) significativamente superior al tratamiento 3 (19.95 ml) y al tratamiento 2 (5.86 ml), véase Anexo 4. En la tercera semana, el valor promedio de

biogás del tratamiento 1 sigue siendo superior, en el mismo orden que en la primera semana; sin embargo, no es significativamente diferente. A partir de ese momento los valores empiezan a mostrar una tendencia similar al tratamiento 3, el cual tuvo un rendimiento máximo de 90.41 ml en la quinta semana. A partir de la semana 5 el rendimiento promedio semanal del Tratamiento 1 son incluso menores a este último. Como se puede ver en la figura anterior, tanto el tratamiento 1 y 3 muestran una relativa similitud en cuanto a las dos etapas de altas producciones de biogás (2da, 3ra y 5ta semana) y una de baja (cuarta semana) que se mostró en la producción de metano, por lo que se sugiere que las variables afectadas en la producción del metano (bajo porcentaje de materia seca y bajo porcentaje de nitrógeno) son las mismas que afectaron la producción del biogás.

El tratamiento 2, al igual que la producción de metano empezó a rendir exponencialmente en la tercera semana; no obstante es a partir de la cuarta semana que el volumen promedio semanal (93.58 ml) es superior al tratamiento 3 (45.50 ml) estadísticamente definido como altamente significativo y en la quinta semana significativamente superior que los tratamientos 1 y 3. Además en la cuarta semana produce un volumen máximo de 140.22 ml.

En la Figura 28 se puede apreciar el comportamiento de los volúmenes diario de biogás acumulado a lo largo de toda la fase experimental para los tres tratamientos. Los valores de medición del volumen diario y volumen acumulado diariamente de biogás se encuentran en el Anexo 3. El análisis estadístico ANOVA y la prueba de Tukey se encuentran en los anexos 9 y 10 respectivamente.

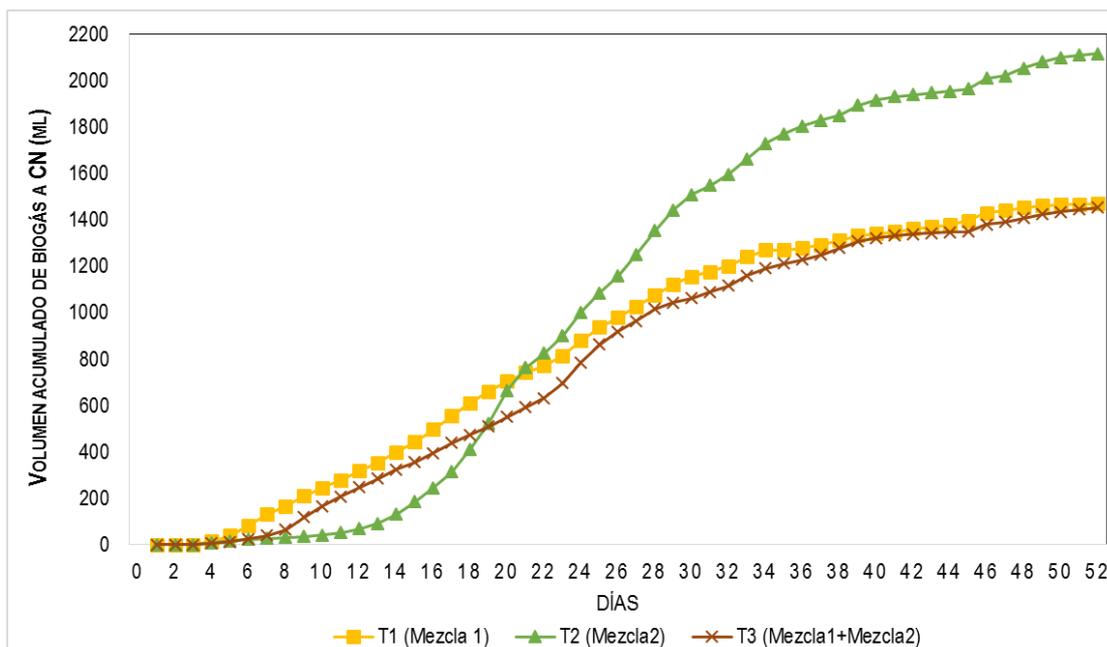


Figura 28: Volumen acumulado diario de biogás a CN

El tratamiento 1, durante las primeras tres semanas el volumen acumulado de biogás es significativamente superior a los demás (tratamiento 1: 497.25 ml; tratamiento 3: 394.70 ml; tratamiento 2: 245.28 ml). A partir de la cuarta semana los volúmenes acumulados diariamente de los tratamientos 1 y 3 no son significativamente diferentes, a pesar que el tratamiento 1 es relativamente superior (1468.72 ml) que el 3 (1453.24) véase en Anexo 3.

El volumen acumulado del tratamiento 2 empieza a ser significativamente superior a los demás tratamientos recién a partir de la quinta semana (véase el análisis estadístico en el Anexo 9 y Anexo 10). Al final de la octava semana, el volumen acumulado de biogás es altamente significativo, llegando a acumular un volumen de 2115.82 ml, el cual fue muy superior a los otros, véase Anexo 4.

4.2.4 CALIDAD DEL BIOGÁS

En la Tabla 23 se muestra la calidad del biogás en función del volumen producido de metano y de biogás, es decir en porcentaje de metano (%CH₄) que se encuentra en el biogás; para ello se dividió el volumen producido de metano (volumen promedio semanal o volumen acumulado) a CN entre el volumen del biogás (volumen promedio semanal o volumen acumulado) a CN, y finalmente se multiplicó por 100%. Los valores de calidad de biogás

en función del volumen acumulado diario de metano se encuentran en el Anexo 5. También se hace una comparación con un investigación tipo batch de Torres, 2013.

Tabla 23: Calidad de biogás en función de la producción de metano promedio semanal y acumulado

Semana	Volumen Promedio Semanal			Volumen Acumulado semanal			Torres, 2013
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	
1							18.1
2	85.53	58.05	79.32	85.53	58.05	79.32	39.40
3	26.27	70.75	44.53	51.31	68.93	55.09	45.00
4	23.68	30.96	28.01	40.52	41.30	43.37	49.20
5	26.76	28.75	27.90	36.48	36.24	38.04	50.90
6	15.56	24.73	12.72	34.26	34.23	34.22	42.00
7	8.36	32.75	11.06	32.66	34.13	32.57	41.30
8	13.13	13.42	7.45	31.45	32.55	30.72	37.50
9							34.80

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 se compara con la investigación de Torres (2013) utilizó el pre-tratamiento tipo MB-bokashi (durante 7 días a diferencia que la presente investigación se realizó por 2 semanas) con resultados muy buenos respecto a la calidad de biogás, logrando producir un biogás con una calidad homogénea superior a los 40% de CH₄, desde la segunda semana hasta la séptima semana. La producción del gas se inicia desde la primera semana de su investigación. Al final de su investigación (semana 9) logró una calidad de 34.8% muy similar al de nuestra investigación donde los tratamientos 2, 1 y 3 llegaron a un mínimo de 32.55%, 31.45% y 30.72% de metano respectivamente.

En la Figura 29 se muestra los comportamientos de la calidad del biogás en función del volumen promedio semanal de metano de los tres tratamientos. La evaluación de la calidad de biogás se empieza a analizar a partir de la segunda semana porque la producción de los volúmenes de gas empezó a producir recién esa semana.

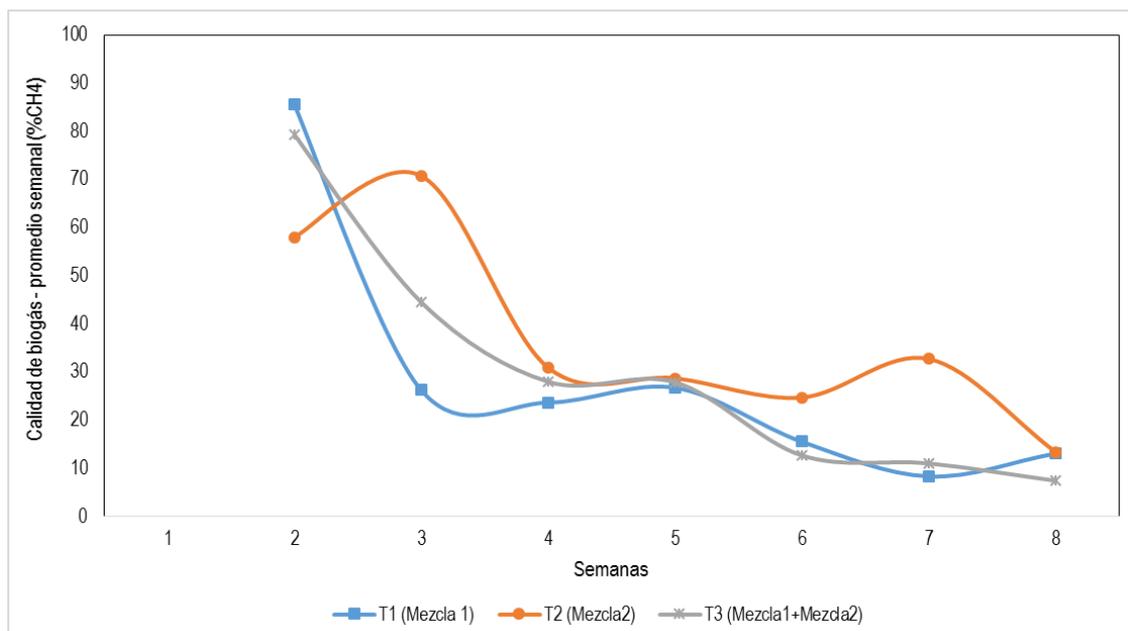


Figura 29: Calidad de biogás (%CH₄) en base al volumen promedio semanal de metano

El tratamiento 1, como se mostró en los ítems 4.2.2 y 4.2.3 es el que empieza a producir de forma exponencial antes que los demás tratamientos; además la producción de metano fue muy parecido a la producción de biogás, pues se logró una calidad inicial cercano al 100% durante los primeros tres días de producción, como se puede ver en la Figura 30. Luego de este tiempo el porcentaje de metano empezó a reducirse paulatinamente hasta llegar a un mínimo de 31.45% al finalizar la octava semana, véase Tabla 23. Sin embargo en el análisis semanal (Figura 29) se puede notar que el porcentaje de metano se reduce para la tercera semana y se mantiene estable hasta la quinta semana con un porcentaje promedio semanal alrededor de 25%, esto se debe a que el volumen de metano para la tercera semana empieza a decaer, a diferencia del volumen de biogás que va en aumento hasta la quinta semana.

El porcentaje de metano del tratamiento 2 inicia con un porcentaje relativamente igual alto (86.74%) a los demás tratamientos, empero luego decae hasta obtener un promedio de la primera semana (58.05%) valores inferiores a los demás tratamientos, debido al tardío arranque principalmente de la producción de metano. Sin embargo la tercera semana, luego de la etapa de arranque de la producción de metano, recupera su alto nivel de porcentaje de metano logrando producir un 70.75% de metano el cual fue significativamente superior al tratamiento 3 y 1, cuyos rendimientos fueron de 44.53% y 26.27% respectivamente.

El rendimiento en la calidad de biogás del tratamiento 3 (87.30% el primer día de producción), véase Anexo 5, tuvo una tendencia similar al tratamiento 1, es decir no son significativamente diferentes desde el inicio de la producción; además se puede notar en la Figura 29 que presenta una reducción de porcentaje de metano de forma gradual y regular a diferencia de los demás tratamientos.

En la Figura 30 y se observa que los porcentajes de metano acumulado llegan a un mínimo de 32.55%, 31.45% y 30.72% para los tratamientos 2, 1 y 3 respectivamente (Tabla 23); pese a que durante las evaluaciones de promedios semanales llegaron hasta niveles alrededor de 10% para la última semana. Esto se debe a que durante las primeras semanas los volúmenes de metano acumulado amortiguaron las bajas producciones de las últimas semanas. Así mismo, a partir de la sexta semana los rendimientos en calidad de biogás se tornan muy irregulares, lo cual se demuestra con los valores de CV por encima del 30% en la semana 7, ver resumen estadístico en el Anexo 11 y Anexo 12.

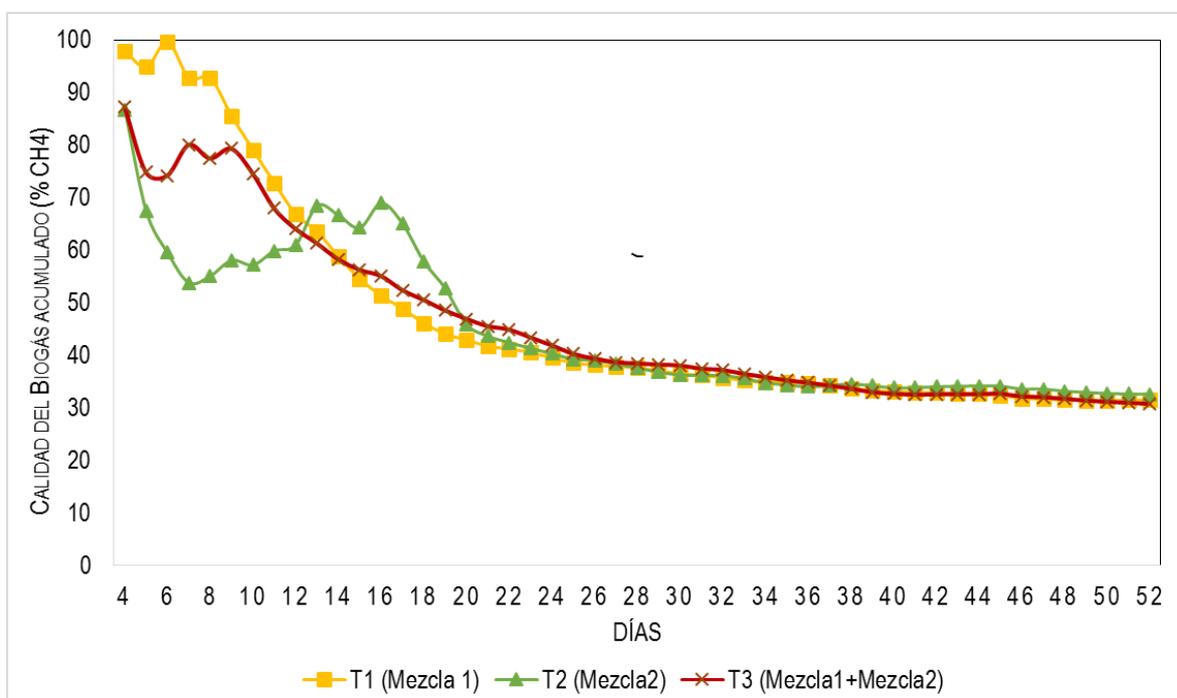


Figura 30: Calidad de biogás en función del volumen diario acumulado de metano (%CH₄)

Según Magaña et al, 2005 citado por Torres, 2012; el biogás debe tener un porcentaje mínimo de metano de 40% para que tenga las propiedades caloríficas necesarias para una buena combustión; este porcentaje se logra mantener durante la 2da, 3ra y 4ta (los primeros 20, 21 y 22 días, ver el Anexo 5) semana de producción de gases acumulado para el tratamiento 1, 2 y 3 respectivamente, véase Tabla 23.

4.2.5 RENDIMIENTO DE LAS PRODUCCIONES DE METANO Y BIOGÁS

En la Tabla 24 y Tabla 25 se muestran los rendimientos de producción de metano y biogás en base a la cantidad de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV). Los porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles se obtuvieron en los análisis químicos de los restos de excretas de los tratamientos.

Tabla 24: Rendimiento de la producción de metano

TRATAMIENTO	Volumen acumulado de metano (ml)	Sólidos Totales (ST) en la muestra (g)	Sólidos Volátiles (SV) en la muestra (g)	Producción de metano (ml/ g ST)	Producción de metano (m3/ kg ST)	Producción de metano (m3/ kg SV)
Tratamiento 1	416.47	28.37	26.59	14.68	0.0147	0.0157
Tratamiento 2	627.84	33.83	33.59	18.56	0.0186	0.0187
Tratamiento 3	421.07	30.35	20.61	13.87	0.0139	0.0204

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Rendimiento de la producción de biogás

TRATAMIENTO	Volumen acumulado de biogás (ml)	Sólidos Totales (ST) en la muestra (g)	Sólidos Volátiles (SV) en la muestra (g)	Producción de biogás (ml/g ST)	Producción de biogás (m3/kg ST)	Producción de biogás (m3/kg SV)
Tratamiento 1	1456.17	28.37	26.59	51.33	0.0513	0.0548
Tratamiento 2	2109.54	33.83	33.59	62.35	0.0624	0.0628
Tratamiento 3	1453.24	30.35	20.61	47.88	0.0479	0.0705

Fuente: Elaboración propia

Analizando la Tabla 25, los rendimientos del biogás son mucho mayores que el rendimiento del metano (Tabla 24), debido a las razones del alto volumen que produjo el biogás por contener otros gases a parte del metano, como se puede ver en la Figura 28.

En la Tabla 24 se observa que el tratamiento 2 es el que tiene un rendimiento superior a los demás en base a los Sólidos Totales, logrando obtener 18.56 ml de metano por un gramo de sólidos totales en la muestra, le sigue el tratamiento 1 (0.0147 m³/kg ST) el cual es relativamente similar al tratamiento 3 (0.0139 m³/kg ST). Sin embargo cuando se evalúa en función a los Sólidos Volátiles (SV), es el tratamiento 3 el que obtiene un rendimiento superior a los demás logrando un 0.0204 m³/kg SV, le sigue el tratamiento 2 (0.0187 m³/kg SV) y finalmente el tratamiento 1 (0.0157 m³/kg SV).

La Tabla 25 muestra rendimientos de biogás de los tratamientos de forma similar que para el metano, no obstante los valores son mayores. En función de los Sólidos Totales, el Tratamiento 2 rinde 0.0624 m³/kg ST, le sigue el tratamiento 1 (0.0513 m³/kg ST) y el tratamiento 3 (0.0479 m³/kg ST). En función de los Sólidos Volátiles el rendimiento del tratamiento 3 (0.705 m³/kg SV) es mayor que el tratamiento 2 (0.0628 m³/kg SV) y este último mayor que el tratamiento 1 (0.0548 m³/kg SV).

Por tanto se sugiere que el tratamiento 3 es el de mejor rendimiento tanto en la producción de metano y de biogás, pues degradó la mayor cantidad de materia orgánica que se convertiría en gas, aunque no produjo mayor volumen de metano debido al bajo porcentaje de Sólidos Volátiles (41.22% SV). Los Sólidos Volátiles representan la materia biodegradable en el proceso de biodigestión (Chen et al., 2010 citado por Kafle & Kim, 2012)

En la Tabla 26 se puede observar las diferencias de los rendimientos de la producción de metano con inóculo y sin inóculo en un sistema de reactor tipo batch.

Tabla 26: Comparación de rendimiento de producción de metano con inóculo y sin inóculo

		Rendimiento de Metano					
		Sin inóculo	Con inóculo	Sin inóculo	Con inóculo	Sin inóculo	Con inóculo
Investigaciones		m ³ /kg SV		m ³ /kg ST		m ³ /ton muestra	
Tratamiento 1		0.016		0.0147		7.028	
Tratamiento 2		0.019		0.0186		11.731	
Tratamiento 3		0.020		0.0139		8.423	
Kaparaju, 2003⁽¹⁾	Excreta de cerdo	0.260	0.360	0.180	0.290	15.900	21.500
	Excreta de vacuno	0.080	0.130	0.060	0.140	4.900	8.400

Fuente: Elaboración propia

(1)Kaparaju, 2003: Los resultados con inóculos utilizaron inóculo de 1 litro de volumen de un reactor de 2 litros tipo batch, durante 120 días.

En la tabla anterior se puede observar que la introducción de los inóculos pueden aumentar la producción de metano hasta en un 60 % de las excreta de cerdo (Kaparaju, 2003). En base a ello se puede notar que la presente investigación está muy por debajo a los resultados encontrados en la investigación de Kaparaju (2003), incluso sin la utilización de inóculo tanto en las diferentes unidades de rendimiento de metano (kg/m³ SV, kg/m³ de ST y kg/ton muestra). Esto se podría deberse a que Kaparaju (2003) utilizó muestras específicas y durante el proceso fue capaz de mantener los reactores agitados diariamente. Empero, los tres tratamientos de nuestra investigación solo es mayor en la unidad de rendimiento de kg/ton muestra para las excretas de vacuno, siendo el tratamiento 2 (11.73 kg/ton muestra) mucho mayor en comparación al rendimiento de vacuno de Kaparaju (2003) de 4.9 kg/ton muestra. Esto podría deberse a que las excretas de vacuno tienen altos porcentajes de humedad lo cual conlleva a que el peso sea mayor.

En la Tabla 27 se puede observar los rendimientos de producción de biogás de la presente investigación con otras investigaciones que utilizaron reactores tipo batch.

Tabla 27: Comparación del rendimiento de biogás

Investigaciones	Unidades		
	m3/kg SV	m3/kg ST	m3/ton muestra
Tratamiento 1	0.055	0.0513	24.575
Tratamiento 2	0.063	0.0624	39.416
Tratamiento 3	0.071	0.0479	29.071
Saico, 2003			25.984
Castillo y Fuentes, 2015			9.967
Torres, 2013	0.200	0.217	42.987

Fuente: Elaboración propia

(1)Saico, 2003: La investigación utilizó inóculo en 1/8 de volumen de un reactor de 500 ml, tipo batch. Encontrándose que las excretas de ovino obtuvieron mayor rendimiento.

(2)Castillo y Fuentes, 2015: La investigación utilizó 70% de estiércol cribado y deshidratado de ovino y 30% de paja, siendo este el mejor resultado.

(3)Torres, 2013: La investigación utilizó inóculo del 10% de volumen de un reactor de 20 galones, tipo batch.

El tratamiento 2 el cual produce un mayor volumen de biogás, tiene un rendimiento de 39.42 m3/ton muestra, el cual es mucho mayor al tratamiento 1 (24.58 m3/ton muestra) y tratamiento 3 (29.07 m3/ton muestra). Además los tratamientos 2 y 3 son superior a los resultado de mejor rendimiento de las investigaciones de Saico, 2003 (25.98 m3/ton muestra) y de Castillo y Fuentes, 2015 (9.96 m3/ton muestra). Sin embargo, es mucho menor comparado con la investigación de Torres (2013), quien utilizó el pre-tratamiento tipo MB-Bokashi, además utilizó inóculo de purín de cerdo al 10% de volumen. Como se pudo verificar en la Tabla 26, los inóculos pueden aumentar el rendimiento de producción de gas hasta en un 60%.

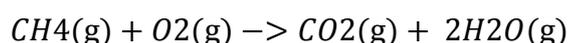
En la Tabla 28 se puede ver el potencial de generación de metano al año. Esta tabla está en base a los datos de generación diaria de restos de excretas, el porcentaje de Sólidos Volátiles (%SV) ambos obtenidos en la caracterización y el rendimiento de metano en el batch test. Lográndose volúmenes potenciales de metano de la siguiente manera: para el tratamiento 1, el cual es la mezcla de los restos de excretas de las zonas africana, sabana y felinario, un volumen de 210.54 m3 de metano anual; para el tratamiento 2, el cual es la mezcla de los restos de las excretas de los animales de la zona la granja, alcanzaría un volumen de 242.99 m3 de metano anual; y finalmente cuando se mezclan todos los restos de excretas (tratamiento 3) se obtendría 426.81 m3 de metano anualmente.

Tabla 28: Producción potencial de metano en base a la producción anual de excretas

	Generación prom. diario de restos de excretas (kg)	Potencial de generación anual de restos de excretas (Ton)	Cantidad anual de SV (ton SV)	Rendimiento de metano en "batch test" (m3/kg SV)	Producción potencial de metano anual (m3)
Tratamiento 1	82.07	29.96	13.44	0.0157	210.54
Tratamiento 2	56.75	20.71	13.00	0.0187	242.99
Tratamiento 3	138.82	50.67	20.89	0.0204	426.81

Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar la energía calorífica para un uso posterior de la producción de metano se evalúa la energía que desprende la combustión de esta, para ello se utiliza la Ley de Hess quien indica que la variación de la entalpía en la reacción directa es la suma de las entalpías de cada una de las reacciones intermedias, ya que al ser la entalpía una función de estado, no depende del camino seguido sino de las condiciones iniciales (reactivos) y finales (productos); por ello basta conocer las entalpías de formación de los reactivos (Metano y oxígeno) y productos (Agua y dióxido de carbono) de la siguiente reacción:



A continuación se presentan los valores de entalpías estándar de formación, según la tabla de entalpías "Entalpía estándar de formación h_f , función de Gibbs estándar de formación g_f , y entropía estándar s , todo ellos a $T=298.15 K$ y $p=100 kPa$ " (Martinez, 1992); es decir a Condiciones normales de presión y temperatura (CNpT). Véase Anexo 15.

Agua (H₂O(g)) : $h_f = -285.83 \text{ KJ/mol}$

Dióxido de carbono (CO₂(g)): $h_f = -393.52 \text{ KJ/mol}$

Oxígeno (O₂(g)) : $h_f = 0 \text{ KJ/mol}$

Metano (CH₄(g)) : $h_f = -74.85 \text{ KJ/mol}$

Finalmente la entalpía o energía de combustión del metano será: $\Delta H^\circ = -890.33 \text{ KJ/mol}$

$$\frac{890 \text{ KJ}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{0.0224 \text{ m}^3} = 39.7 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4}$$

Considerando que 1 kw-h es igual a 3.6 MJ, se tiene:

$$\frac{39.7 \text{ KJ}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} \times \frac{1 \text{ kw} - \text{h}}{3.6 \text{ MJ}} = 11.03 \frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4}$$

Encontrados los valores del potencial de producción de metano para los tres tratamientos, a continuación se hace una extrapolación de los datos en base a la constante teórica de producción energética del metano: 11.03 kw-h/m³ CH₄. Véase Tabla 29.

Tabla 29: Energía disponible en función de la producción anual de metano

	Producción potencial de metano anual (m³)	Contenido energético del metano a CNpT (kw-h/m³ CH₄)	Energía disponible para uso en el PZH a CNpT (kw-h)
Tratamiento 1	210.54	11.03	2322.28
Tratamiento 2	242.99	11.03	2680.21
Tratamiento 3	426.81	11.03	4707.66

Fuente: Elaboración propia

Con la energía disponible se puede hacer funcionar algunos electrodomésticos como la refrigeradora, ventilador, focos fluorescentes además de usar en la cocina.

4.3 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL BIOL

La calidad del biol es medido en base a la composición química (nutrientes) y los análisis microbiológicos. En las siguientes tablas se mostrará los resultados del análisis de los tratamientos de la composición microbiológica y química del biol.

4.3.1 COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA DEL BIOL

En la Tabla 30 se muestra los resultados del análisis microbiológico que fueron analizados antes y después del proceso de fermentación anaeróbica, el análisis microbiológico fue llevado a cabo en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la UNALM. Además se puede observar la eficiencia de remoción durante el proceso anaeróbico.

Tabla 30: Resultado de la remoción de Coliformes totales y fecales

	Muestra	Antes de la fermentación (NMP/ml)	Después de la fermentación (NMP/ml)	Eficiencia de Remoción
Coliformes totales	Tratamiento 1	70x10 ⁴	13.00	99.99%
	Tratamiento 2	40x10 ²	41.00	99.00%
	Tratamiento 3	40x10 ⁴	37.6x10	99.99%
Coliformes fecales	Tratamiento 1	70x10 ⁴	9.33	99.99%
	Tratamiento 2	40x10 ²	19.67	99.00%
	Tratamiento 3	40x10 ⁴	59.00	99.99%

FUENTE: Elaboración propia

Antes de la fermentación los tres tratamientos muestran un resultado idéntico entre ellos, esto debido a que los tres tratamientos fueron pre-tratados como abono bokashi, añadiéndolos la solución de Microorganismo Benéficos (MB), los cuales por competencia suprimen la actividad de los microorganismos patógenos.

Después de la fermentación los resultados de los tratamientos 1 y 2 muestran cantidades similares tanto para Coliformes totales como Coliformes fecales, a diferencia del tratamiento 3 el cual alcanzó una proporción mayor a los demás. Cabe mencionar según Solís (2007) citado por Carhuacho (2012) que el tiempo de fermentación es crucial para la reducción de los NMP de los Coliformes, es así que para un tiempo de fermentación de 335 días puede reducirse cercanos a cero, cuando inicialmente podrían contener 10⁷ – 10⁸ NMP/100 ml.

Los tratamientos 1 y 3 redujeron la cantidad de Coliformes Totales y Fecales en 4 unidades logarítmicas, lo cual es una eficiencia de remoción de 99.99%, el tratamiento 2 redujo en 2 unidades logarítmicas, es decir con una eficiencia de remoción de 99% durante el proceso de fermentación anaeróbica.

Debido a que no hay una reglamentación para el uso del biol, inclusive no es posible la comparación con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. 015-2015-MINAM), en el que muchas otras investigaciones utilizaron como estándar de calidad.. El parámetro microbiológico del ECA Agua se encuentra en unidades de NMP/100 ml, pero los resultados obtenidos en la investigación están en unidades de NMP/ml y el principal motivo para no usar como referencia al ECA Agua y compararla es que una (NMP/mL) se usa para muestras solidas o liquidas y el procesamiento se hace en función a 3 repeticiones por dilución, mientras que la otra (NMP/100mL) se usa solamente para aguas y se hace en función a 5 repeticiones por dilución; por tanto, las tablas de índice del NMP con 95% de límite de confianza a usarse para las diferentes unidades son distintas.

En la Tabla 31 se muestra las comparaciones con otras investigaciones, respecto a los Coliformes totales y fecales.

Tabla 31: Comparación de la calidad microbiológica del biol con otras investigaciones

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Cárdenas, 2012		Torres, 2013
				EV	RO + EV	
Coliformes totales NMP/ml	13.0	41.0	375.7	500	40	221.0
Coliformes fecales NMP/ml	9.3	19.7	59.0	500	40	10.0

Fuente: Elaboración propia

(1) Resultado de la calidad microbiológica del biol del con pre-tratamiento bokashi del estiércol de vacuno (EV) y Residuos orgánicos (RO) del comedor de la UNALM.

(2) Resultado de la calidad microbiológica del biol con pre-tratamiento bokashi de residuos orgánicos más estiércol de vaca con chala de maíz

Los resultados de la tabla anterior muestran claramente que el tratamiento 1 tiene mejores resultados en comparación con los demás tratamientos investigados, incluso con las demás investigaciones que utilizaron tratamientos de bokashi; el tratamiento 2 tuvo resultados semejantes a lo presentado por Cárdenas (2012) con el estiércol de vaca; pero fue mucho mejor que el de Torres (2013); el tratamiento 3 respecto a Coliformes totales, tuvo resultados con mejor calidad microbiológica que RO+EV (Cárdenas, 2013).

4.3.2 COMPOSICION QUÍMICA DEL BIOL

En la Tabla 32 se puede apreciar los resultados de la composición química del biol con fines agronómicos, llevados a cabo en el Laboratorio LASPAF de la UNALM, con la finalidad de evaluar el potencial que tiene este subproducto como abono orgánico líquido. Los valores obtenidos en el laboratorio fueron estadísticamente probados, según el ANOVA las repeticiones resultaron con diferencias No Significativas, además con Coeficiente de Variabilidad menores a 20% (Calzada, 1970).

Tabla 32: Composición química del biol

Parámetros	Unidad de	Tratamiento1 (T1)	Tratamiento 2 (T2)	Tratamiento 3 (T3)
Potencial de hidrógeno	Unidad pH	7.29	7.33	7.26
C.E.	dS/ m	5.25	7.92	6.08
Sólidos Totales	g/L	4.52	8.48	6.69
M.O. en solución	g/L	2.99	4.64	3.98
N total	mg/L	420.00	344.40	321.90
P total	mg/L	37.72	45.58	52.03
K total	mg/L	475.00	976.75	669.50
Ca total	mg/L	136.10	371.50	242.25
Mg total	mg/L	93.00	145.50	108.50
Na total	mg/L	187.50	390.50	265.75

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que los tres tratamientos estadísticamente no son diferentes respecto al pH, ligeramente alcalinos dentro de los valores óptimos para la correcta producción de gas; cabe mencionar que antes de la fermentación anaeróbica el pH se

encontraba alrededor de 8, por tanto se sugiere que la baja producción de metano y biogás fueron por causas de la inhibición de metano y la escases de materia seca.

La Conductividad Eléctrica (C.E.) del Tratamiento 2 (7.92 dS/cm) es significativamente mayor a los demás tratamientos, por lo tanto, este tratamiento tiene una mayor disponibilidad de sales, pero los tratamientos no superan los 15 dS/cm de lo contrario serian dañinos, haciendo que otros nutrientes no se encuentren disponibles para las plantas (Magaña, 2006 citado por Torres, 2012).

Los valores de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) son considerados nutrientes mayores, los cuales son los primeros en ser extraídos por la plantas, por tanto son los que más escasean en el suelo (AEDES, 2006 citado por Carhuancho (2012), por tanto mientras más alto el valor mucho mejor. La cantidad de nitrógeno total (N total) del tratamiento 1 (420.0 mg/l) es matemáticamente superior a los demás tratamientos, pero estadísticamente las diferencias no son significativas. El fósforo total (P total) del tratamiento 3 (52.03 mg/l) es significativamente superior al tratamiento 1 (37.72 mg/l) pero no así para el tratamiento 2 (45.58). El potasio total (K total) del tratamiento 2 es significativamente superior a los demás tratamientos con un valor de 976.75 mg/l.

Los valores de Ca y Mg son considerados nutrientes secundarios, es decir que después de los NPK son estos valores de mayor importancia para el crecimiento de las plantas (AEDES, 2006 citado por Carhuancho (2012). El tratamiento 2 es el que tiene los valores significativamente más altos tanto para el Calcio total (Ca total) con 371.50 mg/l y Magnesio total (Mg total) con 145.50 mg/l.

En la Tabla 33 se hace una comparación de los resultados de la composición química del biol con investigaciones que utilizaron un pre-tratamiento tipo MB-Bokashi.

Tabla 33: Comparación de la calidad química del biol con otras investigaciones

Parámetro	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Cárdenas, 2012 ⁽¹⁾		Torres, 2013 ⁽²⁾
					EV	RO + EV	
Pot. hidrógeno	Unidad pH	7.29	7.33	7.26	6.78	6.69	7.14
C.E.	dS/ m	5.25	7.92	6.08	9.45	16.03	12.90
Sólidos Totales	g/l	4.52	8.48	6.69	-	-	34.26
M.O en solución	g/l	2.99	4.64	3.98	6.70	8.83	20.60
N total	mg/l	420.00	344.40	321.90	676.67	814.33	1551.70
P total	mg/l	37.72	45.58	52.03	50.50	26.06	423.05
K total	mg/l	475.00	976.75	669.50	755.33	1083.33	1885.80
Ca total	mg/l	136.10	371.50	242.25	765.33	1773.33	1044.17
Mg total	mg/L	93.00	145.50	108.50	278.67	224.67	334.17
Na total	mg/L	187.50	390.50	265.75	436.00	841.33	818.33

Fuente: Elaboración propia

(1)Cárdenas, 2012: Resultado de la calidad del biol utilizando estiércol de vaca (EV) y residuos orgánicos (RO) del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM.

(2)Torres, 2013: Resultado de la calidad del biol con pre-tratamiento de Bokashi del estiércol de vacuno.

La presente investigación estuvo por un tiempo de 52 días en el reactor con la finalidad de conocer la calidad del biol, pues según Carhuancho (2012) a más del tiempo de retención la calidad del biol es mejor; sin embargo los resultados estuvieron por debajo de los resultados de otras investigaciones que utilizaron el pre-tratamiento tipo MB-bokashi tales como el de Cárdenas (2012) y Torres (2013).

Dentro de los nutrientes mayores de los tres tratamientos de la presente investigación, el nitrógeno total es el que estuvo por debajo de los valores obtenidos por Cárdenas (2012), tanto para EV (676.67 mg/l) como RO+EV (814.33 mg/l), además muy por debajo de los valores encontrados por Torres (2012) que fue 1551.7 mg/l. Esto se debe principalmente por haber pre-tratado con los Microorganismos Benéficos por un periodo muy largo, pues para la presente investigación se pre-trató por dos semanas, a diferencia de los demás investigadores que sólo pre-trataron por 5 – 7 días, lo cual ayudó que gran parte del nitrógeno presente en las muestras no se evaporaran. Empero los valores de P total del tratamiento (352.03 mg/l) son ínfimamente mayor en comparación al tratamiento EV (50.50 mg/l) de Cárdenas (2012); así también el P total (976.75 mg/l) del tratamiento 2 es mayor al EV (7555.33 mg/l) de Cárdenas (2012).

V. CONCLUSIONES

- En base al diagnóstico se puede apreciar que el manejo de los residuos sólidos dentro del Parque Zoológico de Huachipa es muy ordinario, basado en un recojo y transporte de los residuos producidos en los dormitorios y el área de esparcimiento de los animales.
- Durante el diagnóstico se pudieron reconocer que los animales de las cuatro zonas (granja, africana, felinario y sabana) son los que diariamente producen mayor cantidad de residuos en comparación de los demás animales que viven en el Parque Zoológico.
- En base a la caracterización de los residuos de las excretas de los animales se concluye que la zona de la granja produce alrededor de la mitad (56.71 kg/día) de los residuos generados de las 4 zonas investigadas, por lo tanto, manejando de forma exclusiva estos residuos, se reducirían casi la mitad de los residuos generados.
- Las excretas de los animales de la zona del felinario y de los tapires, se caracterizaron por el fuerte mal olor, por lo que se decidió trabajar con un pre-tratamiento tipo MB-Bokashi para reducir el hedor.
- La alimentación de los animales del Parque Zoológico Huachipa están prescritos por especialistas quienes trabajan en la Unidad de Nutrición, en base al estado de Salud, edad y sexo.
- La alimentación de los animales de la granja (herbívoros) y de los felinos (carnívoros) son los menos complejos, sin embargo, la alimentación de los osos (omnívoros) y los animales de la zona de la sabana son los más variados.
- El Tratamiento 1 o “Mezcla 1” (mix de restos de excretas de la zona de sabana, zona africana y zona de felinario) produce mayor volumen tanto de metano como de biogás durante la segunda semana; sin embargo, seguidamente la producción es inhibida por el amoníaco presente en el medio.
- El Tratamiento 3 (Mezcla 1 + Mezcla 2) no es Significativamente diferente respecto al tratamiento 1 casi en todo el tiempo del proceso anaeróbico, por lo que ambos

tienen una similitud en las curva de producción, caracterizados por tener dos etapas de alta producción y una de baja, esta última inhibida por el amoniaco presente en el medio. El tratamiento 3 y el Tratamiento 1 acumularon un volumen de 446.39 ml y 461.92 ml de metano respectivamente; y 1453.24 ml y 1468.72 ml de biogás respectivamente, ambos menores al tratamiento 2.

- El tratamiento 2 o “Mezcla 2” (mix de restos de excretas de la zona de granja) resulta con un tipo de degradación retardada por contener alto porcentaje de nitrógeno (1.45), lignina, hemicelulosa, celulosa, comparado con los demás tratamientos; sin embargo, este tratamiento produjo un volumen significativamente mayor a los demás, acumulando 688.66 ml de metano y 2115.82 ml de biogás.
- El tratamiento 3 es el de mejor rendimiento, logrando una producción de metano 0.0204 m³/kg SV de metano y de biogás 0.0705 m³/kg SV; sin embargo, no produjo mayor volumen debido a que contenía un bajo porcentaje de SV (41.22%). Este tratamiento, en base a la producción de residuos de excretas tiene un potencial de producción anual de 425.64 m³ metano mucho mayor que el tratamiento 2 (242.33 m³) y tratamiento 1 (209.97 m³).
- La producción potencial anual de metano a CN es mayor para el tratamiento 3 (426.81 m³), le sigue el tratamiento 2 (242.99 m³) y finalmente el tratamiento 1 (210.54 m³). El tratamiento 3 tiene mayor potencial de producción de metano debido a que tiene una alta generación de restos de excretas. Además convirtiendo los valores a Kilowatts-hora (Kw-h), la producción potencial anual de metano teórica a CN de presión y temperatura para el tratamiento 1 es de 2322.28 kw-h, para el tratamiento 2 es 2680.1 kw-h; y para el tratamiento 3 es 4707.66 kw-h.
- La calidad del biogás es superior al 40% de CH₄ (porcentaje mínimo para ser considerado gas de buena combustión) hasta alrededor de la cuarta semana para todos los tratamientos (la primera semana no hubo producción de gas).
- La calidad del biogás en base a la producción promedio diario, analizado semanalmente, es irregular para los tres tratamientos, pues durante la segunda y tercera semana la calidad sobrepasa el 50% de CH₄, luego se reduce significativamente hasta valores mínimos; no obstante, la calidad de biogás en base al volumen acumulado llega alrededor de 30% para todos los tratamientos al final del proceso.
- La eficiencia de remoción de los Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF) fue de 99.99% para el tratamiento 1 y 3, y de 99% para el tratamiento 2, lográndose

al final valores de CT y CF para el tratamiento 1: 13.0 NMP/ml y 9.33 NMP/ml; para el Tratamiento 2: 41.0 NMP/ml y 19.67 NMP/ml; y para el tratamiento 3; 357.67 NMP/ml y 59.0 NMP/ml. Siendo el Tratamiento 1 y 2 los de menor valor, incluso comparado con otras investigaciones.

- La calidad de biol en relación a los nutrientes mayores (NPK) fue disparejo. Para el N total los tres tratamientos fueron estadísticamente no diferentes, aunque matemáticamente el tratamiento 1 (420 mg/l) fue mayor; para el P total el tratamiento 1 (52.03 mg/l) fue estadísticamente superior; para el K total el tratamiento 2 (976.75mg/l) fue significativamente superior a los demás tratamientos.
- La calidad de biol en relación a los nutrientes secundarios (Ca, Mg) fue el tratamiento 2 el cual fue estadísticamente superior en Ca total (371.5 mg/l), Mg total (145.5 mg/l).
- Para el tratamiento 2, la calidad del biol en relación a los nutrientes mayores y secundarios es significativamente superior en casi todas las variables, a excepción del N total; sin embargo en comparación con otras investigaciones que utilizaron el pre-tratamiento MB-bokashi los resultados fueron inferiores debido a que ellos trabajaron con los MB por 1 semana y nuestra investigación por 2 semanas.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario una evaluación previa en el laboratorio en referencia a la relación C/N debido a la variación de la alimentación de los animales.
- Es recomendable utilizar volúmenes de inóculo, según la literatura alrededor del 10%, para acelerar la etapa de arranque y mantener el proceso de fermentación; además es necesario la evaluación de los tratamientos y compararlo con un Blanco, donde el sustrato solo contenga agua, para conocer en cuanto influye el inóculo en el aumento de la producción tanto del metano como del biogás.
- Es recomendable mantener los reactores agitando todos los días que dura la fermentación anaeróbica, para mantener homogénea la mezcla y una mejor degradación de ella.
- En las pruebas tipo batch, en la cual se utilizan botellas de vidrio transparentes, es recomendable mantener los biodigestores cubiertos o pintados de color negro, para impedir el paso de luz solar al interior, a fin de evitar la proliferación de algas y/o microorganismos fotosintéticos.
- Para un pre-tratamiento tipo abono MB-bokashi es recomendable manejarlo sólo durante cortos periodos de tiempo, entre 5 a 7 días. Esto con la finalidad de no permitir la sobre-degradación de la materia orgánica y su posible reducción de la relación C/N, lo cual conlleva a un baja producción de biogás de baja calidad.
- El manejo de los residuos sólidos dentro del Parque Zoológico de Huachipa es muy ordinario; por tanto se recomienda realizar cambios en su política de manejo de residuos sólidos producidos por los animales y por los visitantes, de manera que se cumpla con uno de los objetivos de la Estrategia de Zoos y Acuarios, que es la educación ambiental.
- En base al sustento de datos del potencial de excretas, es recomendable hacer un diseño de biodigestor de geomembrana de PVC para el tratamiento de los restos de excretas de 30 m³ de volumen, con una carga diaria de 1:5 (restos de excretas/agua) con tiempo de retención de 30 días.

- En base al potencial anual de generación de excretas y residuos del tratamiento 1, el cual se caracteriza por tener un mal olor, además de tener un %SV relativamente alto, es recomendable poder usar diferentes tipos de tratamientos alternos como la fabricación de compost con Microorganismos Benéficos, tipo MB-bokashi; o biofertilizantes con bacterias homolácticas, los cuales reducen apliamente los mal olores y son alternativas de mejor rendimiento en calidad de abonos orgánicos.
- Aunque no se tomó en cuenta los residuos generados por los visitantes y restaurantes, que representan alrededor del 50% en peso (según Municipalidad de Ate) de los residuos generados en el Parque Zoológico de Huachipa, es necesario manejarlo mediante segregación y poder tratar los restos orgánicos como co-digestión anaeróbica en la producción de biogás o en la fabricación de compost.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AAE (Agencia Andaluza de Energía). 2011. Estudio básico del biogás. Sevilla – España. Consultado 23 dic. 2015. Disponible en https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf
- Angonese A., Torres A., Moreno S. 2005. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na redução da carga orgânica e produção de biogás a partir de dejetos de suínos. Paraná, Brasil. Academia Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 7 p.
- Baba Shehu Umar Ibn Abubakar; Nasir Ismail. 2012. ANAEROBIC DIGESTION OF COW DUNG FOR BIOGAS PRODUCTION. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 7, NO. 2, 169-172.
- Bagudo, BU; Garba, B; Dangogo SM; Hassan LG. 2011. The quality evaluation of Biogas Samples Generates from Selected Organic Wastes. Scholars Research Library. 3 (5): 549-555.
- Barre Stalin M. 2003. Estudio nutricional comparative de bokashis inoculados con levaduras y con Microorganismos Eficientes (EM) de primera y segunda generación a dos diferentes concentraciones en Zamorano. Proyecto Ing. Agrónomo. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. 47 p.
- Blanco Daniel. 2011. Tratamiento biológico aerobio-anaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost. Tesis Doctorado. León España, Universidad de León. 265 p.

- Biogas Handbook, Teodorita Al Seadi. 2008. European Comission, Esbjerg, Denmark. Consultado 25 Nov. 2015. Disponible en <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>
- Bolívar, HE; Ramirez EY. 2012. Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. Tesis Ing. de Producción. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 112 p.
- Cárdenas, José C. 2012. Evaluación de la calidad de biogás y biol en biodigestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM. Tesis Ing. Ambiental. Lima Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 132p.
- Carhuacho FM. 2012. Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración del biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuos avícola. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 148 p.
- Castillo V; Fuentes JM. 2015. Producción de biogás a partir de la utilización del estiércol de ovino comparado con el de otras especies (bovino y gallina). Tesis Ing. Agrónomo en Zootecnia. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, México. 100 p. Consultado 29 de Mayo, 2016. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6710>
- Cendales L, ED. 2011. Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. Tesis Mg. Sc. Ing. Mecánico. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 137 p. Consultado 25 Nov. 2015. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>
- Costa Alves de Araújo Laura. 2012. Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos e glicerina bruta. Tesis Zootecnista. Dourados, Brasil. Universidad Federal da Grande Dourados. 42 p.

- Cueva BL. 2012. Obtención de biogás de estiércol porcino y restos vegetales, por fermentación semicontinua. Tesis Biol. Microbiólogo. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. 115 p.
- Deublein, D and Steinhauser, A. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources. 2nd Ed, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Drog, B; Al Saedi, T; Braun, R; Bochmann, G. 2013. Analysis and Characterization of Biogas Feedstock. In: The Biogas Handbook: Science, production and applications, Wellinger, A; Murphy, JD; Baxter, D. (eds), Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda), 2000. BOKASHI (Abono Orgánico Fermentado). Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Guía para uso práctico. Guacimo, Limón, Costa Rica.
- Gutiérrez García, GJ, I. Moncada Fernández, M.M. Meza Montenegro, A. Félix Fuentes, J. de J. Balderas Cortés y P. Gortáres Moroyoquí. 2012. “Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía”, Ide@s CONCYTEG, 7 (85). 881-894.
- Guía para la aplicación de la Ley 31/2003 de conservación de la fauna silvestre en los parques zoológicos. Consultado 03 Feb. 2016. Disponible en http://www.aiza.org.es/pdf/publicaciones/guia_aplicacion_ley_31_2007.pdf
- Huachi Espin, L. 2008. Mejoramiento del suelo mediante la producción de un abono orgánico a partir de estiércol animal, en el parque metropolitano de Quito. Tesis Msc en Gestion Ambiental y la Industria. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. 130 p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Caracterización de excretas y buenas prácticas de Manejo para el Reciclado de

- nutrimentos en Explotaciones Intensivas de Leche. Delegación de Coyoacán, México, 2011.
- Klasson T., Nghiem N. 2003. Energy production from zoo animal wastes. OAK Ridge National Laboratory. U.S. department of Energy. Tennessee, USA. Consultado 25 Nov. 2015. Disponible en <http://web.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/116441.pdf>
 - Konrad O., Machado C. 2012. Avaliação da utilização de dejetos bovinos com e sem uso de glicerina em biodigestores operados em batelada. Revista destaques académicos, 4(4): 59-65.
 - Kusch S. 2012. Energy Efficiency of Zoos: An Interdisciplinary Challenge with Special Benefits in Urban Environments. Advanced Research in Scientific Areas 2012. Section 9. Ecology. 1353-1356. Consultado 23 Nov. 2015. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/235701919_Energy_Efficiency_of_Zoos_An_Interdisciplinary_Challenge_with_Special_Benefits_in_Urban_Environments
 - Kyan T., Shintani M., Kanda S., Sakurai M., Ohashi H., Fujisawa A., Pongdit S. 1999. KYUSEI NATURE FARMING AND THE TECHNOLOGY OF EFFECTIVE MICROORGANISMS. Guidelines for practical use. Bangkok, Thailand.
 - Ley 31/2003, de 27 de Octubre, de conservación de la fauna silvestre en los parques zoológicos. Consultado 03 Feb. 2016. Disponible en <https://www.boe.es/boe/dias/2003/10/28/pdfs/A38298-38302.pdf>
 - Manual de Biogás, Proyecto CHI/00/G32. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago de Chile, 2011. Consultado 03 Dic. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
 - Manual para la Producción de Biogás, Hilbert, Jorge A. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – I.N.T.A., Argentina, 2010.

- Martínez I. 1992. Termodinámica básica y aplicada. Madrid, España. DOSSAT S.A. 642 p.
- Martínez J. 2010. Diseño de un modelo de biodigestor para el uso de familias rurales en el Perú. Tesis Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. 92 p.
- Mendizábal, Nieto Yerko Ted. 2003. Evaluación del efecto de biol, bioactivos y fertilización potásica en el rendimiento y calidad del maíz morado. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo- UNALM. Lima, Perú. 30 – 31 p.
- Montalván, Álvaro. 2010. Estudio de prefactibilidad de un centro recreativo/zoológico en el Cono Norte de Lima Metropolitana. Tesis Ing. Industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima Perú. 106 p.
- Montes, ME. 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás. Tesis doctoral Ing. Química. Departamento de Ingeniería Civil, Ordenación del territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 487 p.
- Nusrat, J; Dido, M. 2014. Biogas production potencial from municipal organic wastes in Dhaka city, Bangladesh. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(1): 453 – 460 p.
- Ocaña, F. 2011. Biodigestor anaerobio de laboratorio. Proyecto fin de carrera Ing. Químico. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, España. 116 p.
- Olaya, Y; González LO. 2009. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Colombia, 2009.
- Pazmiño, AI. 2012. Diseño, construcción e implantación de un digestor anaerobio de flujo continuo para el tratamiento de estiércol bovino en la finca “Rancho Santa

- Esther” del sector “La Delicia” parroquia Tulcán, Cantón Tulcán, provincia del Carchi, Ecuador. Sangolqui, Ecuador. 2012. 146 p.
- Perez, JA; Tinedo, ME. 2005. Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Tesis Ing. Mecánico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 145 p.
 - Kaparaju P. Enhancing methane production in a farm –scale biogas production system. 2003. Academic dissertation. Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2003, 84 p.
 - Quipuzco L; Baldeon W; Tang O. 2011. Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de las mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. Rev. Del Instituto de investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. 14(27): 99 - 104.
 - Quadros, D; Oliver A., Regis U., Valladares R., De Souza P., Ferreira E. 2010. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V14, n.3, p. 326-332.
 - Ramírez, IF. 2010. Emisiones de metano generadas por excretas de granja y contenido ruminal de bovino. Tesis Dra. En Ciencias. Colegio de Postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en Ciencias agrícolas. Montecillo, Texoco, Estado de México, México. 184 p.
 - Saico, LK. 2003. Determinación de sustratos óptimos para la producción de biogás a partir del estiércol de ganado ovino, vacuno y porcino de los corrales de crianza de la UNALM. Tesis Mag. Sc. Lima Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 107 p.
 - Saleh M, Mahmood U. 2003. USAB/EGSB Application for industrial wastewater treatment. Seventh International Water Technology Conference Egypt. 335 – 344 p.

- Sales, E; Martins G; Oliveira D; De Lemos C. 2009. Tratamiento térmico de lodo anaeróbico con utilización do biogás gerado em reatores UASB: avaliação da autossustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo. *Engenharia Sanitaria Ambiental*.v14.n.3.2009. p. 337-346.
- Saunders, GA; De Abreu, G; Cruz, V; Dias, E. 2006. Características das fezes de bovinos sindi, bovinos f1 simental x nelore e bufalos mediterraneos confinados. *B. indust, anim., N, Odessa*, v 63, n.4 p. 227-234.
- Sebola MR; Tesfagiorgis HB; Muzenda E. 2015. Methane production from anaerobic co-digestion of cow dung, chicken manure, pig manure and sewage waste. *World congress on Enginnering* . London, UK. Vol I 7 p.
- Schipper, RA. 1996. Farming in a fragile future: economics of land use with applications in the Atlantic Zone of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Wageningen, Agricultural University. 282 p.
- Toalombo M. C. 2013. Aplicación de abonos orgánicos tipo Biol al cultivo de mora (*Rubusglaucus Benth*). Tesis Ing. Agrónomo, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 92 p.
- Torres, Allen A. 2013. Influencia del abono bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. Tesis Ing. Ambiental, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú, 99 p.
- Téllez Cristian A. 2008. Diseño y selección de elementos para una planta de biogás. Tesis Ing. Mec, Valdivia Chile, Universidad Austral de Chile. 74 p.
- Ukpai, P. A.; Nnabuchi, M. N. 2012. Comparative study of biogas production from cow dung, cow pea and cassavapeeling using 45 litres biogas digester. *Pelagia Research Library*. 3 (3):1864-1869.

- Vera I. 2011. Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de microgeneración. Tesis Mag. Sc. en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 163 p.

- Yah Correa, EV. 1998. Crioconservación de suspensiones celulares embriogénicas de Musa spp. iniciadas a partir de flores inmaduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Volumen de metano producido a Condiciones Normales (CN)

Día de medición	Volumen Unitario			Volumen Acumulado		
	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 1+ Mezcla 2)	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 1+ Mezcla 2)
0	0.00	0.00	0.00			
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	15.97	7.99	6.21	15.97	7.99	6.21
5	21.74	4.44	4.44	37.72	12.42	10.65
6	46.15	1.77	7.99	83.86	14.20	18.64
7	37.27	0.89	14.20	121.14	15.09	32.84
8	34.17	2.66	17.75	155.30	17.75	50.58
9	24.40	2.66	44.37	179.71	20.41	94.96
10	14.64	3.99	29.29	194.35	24.40	124.24
11	8.87	6.66	16.86	203.23	31.06	141.10
12	9.76	11.54	18.19	212.99	42.60	159.30
13	11.54	20.41	15.97	224.52	63.01	175.27
14	10.65	24.85	14.20	235.17	87.86	189.47
15	7.10	31.50	10.21	242.27	119.36	199.68
16	12.87	49.70	17.75	255.14	169.06	217.42
17	15.97	35.94	12.42	271.12	205.00	229.85
18	10.65	33.72	9.76	281.76	238.72	239.61
19	9.76	37.72	7.99	291.53	276.44	247.60
20	10.65	28.40	11.09	302.18	304.84	258.69
21	7.54	28.40	11.54	309.72	333.24	270.23
22	7.99	16.42	13.76	317.71	349.65	283.98
23	12.87	22.19	17.75	330.57	371.84	301.73
24	16.86	31.95	27.51	347.44	403.79	329.24
25	13.76	22.19	18.19	361.19	425.97	347.44
26	11.54	25.29	14.20	372.73	451.27	361.63
27	15.53	28.40	11.54	388.26	479.67	373.17
28	15.53	28.40	16.86	403.79	508.06	390.03

“Continuación”

29	11.09	22.19	8.43	414.88	530.25	398.46
30	6.66	16.42	5.32	421.54	546.67	403.79
31	3.99	12.87	3.55	425.53	559.54	407.34
32	3.99	16.86	7.54	429.52	576.40	414.88
33	6.66	14.64	7.54	436.18	591.04	422.43
34	5.77	9.32	3.99	441.95	600.36	426.42
35	0.00	7.54	0.44	441.95	607.90	426.86
36	0.89	5.32	0.00	442.84	613.23	426.86
37	0.00	12.42	0.89	442.84	625.65	427.75
38	0.00	12.87	1.77	442.84	638.52	429.52
39	0.00	7.99	1.33	442.84	646.51	430.86
40	0.89	0.89	0.44	443.72	647.39	431.30
41	0.89	4.88	0.89	444.61	652.27	432.19
42	1.77	6.66	3.11	446.39	658.93	435.29
43	1.77	4.88	2.22	448.16	663.81	437.51
44	1.77	3.11	0.89	449.94	666.92	438.40
45	1.77	2.66	1.77	451.71	669.58	440.17
46	3.11	4.88	3.55	454.82	674.46	443.72
47	0.89	3.11	0.89	455.70	677.57	444.61
48	1.33	3.11	0.89	457.04	680.67	445.50
49	1.33	3.99	0.44	458.37	684.67	445.94
50	1.77	1.77	0.44	460.14	686.44	446.39
51	0.89	1.33	0.00	461.03	687.77	446.39
52	0.89	0.89	0.00	461.92	688.66	446.39

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: Volumen promedio diario de metano analizados semanalmente

Semana	Volumen Promedio Semanal			Volumen Acumulado semanal		
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	29.95	3.40	15.83	179.71	20.41	94.96
3	10.78	21.24	17.50	255.14	169.06	217.42
4	10.78	28.97	12.04	330.57	371.84	301.73
5	12.99	24.98	14.58	421.54	546.67	403.79
6	3.04	11.28	3.42	442.84	625.65	427.75
7	1.01	5.90	1.52	449.94	666.92	438.40
8	1.50	2.72	1.00	461.92	688.66	446.39

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: Volumen de biogás producido

Día de medición	Volumen Unitario diario			Volumen Acumulado		
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1 + Mezcla2)	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1 + Mezcla2)
0						
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	16.32	9.21	7.12	16.32	9.21	7.12
5	23.44	9.21	7.12	39.76	18.42	14.23
6	44.37	5.44	10.88	84.13	23.86	25.11
7	46.46	4.19	15.91	130.59	28.04	41.02
8	36.83	4.19	24.28	167.42	32.23	65.30
9	42.69	2.93	54.41	210.12	35.16	119.71
10	35.58	7.53	46.88	245.69	42.69	166.59
11	33.48	9.21	41.02	279.18	51.90	207.61
12	39.34	18.00	41.02	318.52	69.90	248.62
13	34.74	22.18	37.25	353.26	92.08	285.88
14	46.88	39.76	39.34	400.14	131.85	325.22
15	43.95	53.99	29.72	444.09	185.84	354.94
16	53.16	59.44	39.76	497.25	245.28	394.70
17	57.34	69.90	43.95	554.59	315.17	438.65
18	56.51	97.52	35.58	611.10	412.70	474.23
19	50.65	111.76	36.00	661.74	524.45	510.22
20	42.69	140.22	41.02	704.43	664.67	551.24
21	37.67	99.20	42.27	742.11	763.87	593.52
22	29.30	61.11	39.34	771.40	824.98	632.86
23	44.37	75.34	62.78	815.77	900.32	695.65
24	64.46	101.71	90.41	880.23	1002.03	786.05
25	56.51	83.71	77.01	936.74	1085.74	863.07
26	41.44	71.57	56.09	978.17	1157.32	919.16
27	47.72	93.76	45.62	1025.89	1251.07	964.78
28	47.72	101.71	50.65	1073.60	1352.78	1015.42
29	48.97	88.73	27.21	1122.58	1441.52	1042.63
30	33.07	66.97	18.84	1155.64	1508.49	1061.47
31	20.93	38.93	26.79	1176.57	1547.41	1088.25
32	25.53	48.13	27.62	1202.10	1595.55	1115.88
33	38.09	66.55	43.53	1240.19	1662.10	1159.41
34	28.88	66.97	30.55	1269.07	1729.07	1189.96
35	0.00	40.60	22.18	1269.07	1769.67	1212.15
36	8.37	34.32	15.91	1277.44	1803.99	1228.05
37	15.07	23.86	21.77	1292.51	1827.85	1249.82
38	19.67	21.77	27.21	1312.18	1849.61	1277.02
39	19.25	42.27	30.55	1331.44	1891.89	1307.58

“Continuación”

40	9.21	24.28	14.23	1340.64	1916.16	1321.81
41	7.53	13.39	9.21	1348.18	1929.56	1331.02
42	12.14	9.21	7.12	1360.32	1938.77	1338.13
43	8.79	7.12	5.02	1369.11	1945.88	1343.16
44	8.37	7.95	2.93	1377.48	1953.83	1346.09
45	18.84	8.79	2.09	1396.31	1962.62	1348.18
46	33.90	46.88	32.65	1430.22	2009.50	1380.83
47	9.21	10.05	8.37	1439.42	2019.55	1389.20
48	12.14	33.48	16.74	1451.56	2053.03	1405.94
49	8.37	27.62	16.74	1459.93	2080.66	1422.68
50	4.60	17.58	12.14	1464.54	2098.24	1434.82
51	2.51	11.30	8.37	1467.05	2109.54	1443.19
52	1.67	6.28	10.05	1468.72	2115.82	1453.24

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4: Volumen promedio diario de biogás analizados semanalmente

Semana	Volumen Promedio Semanal			Volumen Acumulado semanal		
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	35.02	5.86	19.95	210.12	35.16	119.71
3	41.019	30.017	39.285	497.25	245.28	394.70
4	45.50	93.58	42.99	815.77	900.32	695.65
5	48.55	86.88	52.26	1155.64	1508.49	1061.47
6	19.55	45.62	26.91	1292.51	1827.85	1249.82
7	12.14	18.00	13.75	1377.48	1953.83	1346.09
8	11.41	20.25	13.39	1468.72	2115.82	1453.24

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 5: Calidad del biogás en función al volumen acumulados de metano
(%CH₄)**

Día de medición	Calidad de biogás del volumen Acumulado (%CH ₄)		
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1 + Mezcla2)
0			
1			
2			
3			
4	97.86	86.74	87.30
5	94.85	67.46	74.83
6	99.68	59.52	74.21
7	92.76	53.80	80.05
8	92.76	55.07	77.47
9	85.53	58.05	79.32
10	79.10	57.16	74.58
11	72.79	59.85	67.97
12	66.87	60.94	64.07
13	63.56	68.43	61.31
14	58.77	66.64	58.26
15	54.55	64.23	56.26
16	51.31	68.93	55.09
17	48.89	65.04	52.40
18	46.11	57.84	50.53
19	44.05	52.71	48.53
20	42.90	45.86	46.93
21	41.74	43.62	45.53
22	41.19	42.38	44.87
23	40.52	41.30	43.37
24	39.47	40.30	41.89
25	38.56	39.23	40.26
26	38.10	38.99	39.34
27	37.85	38.34	38.68
28	37.61	37.56	38.41
29	36.96	36.78	38.22
30	36.48	36.24	38.04
31	36.17	36.16	37.43
32	35.73	36.13	37.18
33	35.17	35.56	36.43
34	34.82	34.72	35.83
35	34.82	34.35	35.22
36	34.67	33.99	34.76
37	34.26	34.23	34.22
38	33.75	34.52	33.63
39	33.26	34.17	32.95

“Continuación”

40	33.10	33.79	32.63
41	32.98	33.80	32.47
42	32.81	33.99	32.53
43	32.73	34.11	32.57
44	32.66	34.13	32.57
45	32.35	34.12	32.65
46	31.80	33.56	32.13
47	31.66	33.55	32.00
48	31.49	33.15	31.69
49	31.40	32.91	31.35
50	31.42	32.72	31.11
51	31.43	32.60	30.93
52	31.45	32.55	30.72

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6: Calidad del biogás en función al volumen promedio y acumulado semanal de metano

Semana	Volumen Promedio Semanal			Volumen Acumulado semanal		
	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)	T1 (Mezcla1)	T2 (Mezcla2)	T3 (Mezcla1+ Mezcla2)
1						
2	85.53	58.05	79.32	85.53	58.05	79.32
3	26.27	70.75	44.53	51.31	68.93	55.09
4	23.68	30.96	28.01	40.52	41.30	43.37
5	26.76	28.75	27.90	36.48	36.24	38.04
6	15.56	24.73	12.72	34.26	34.23	34.22
7	8.36	32.75	11.06	32.66	34.13	32.57
8	13.13	13.42	7.45	31.45	32.55	30.72

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de la producción de metano

Donde:

VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
 VolUnProm_xS : Volumen unitario promedio semanal de la semana X.
 Sum of Squares : Suma de cuadrados
 Mean Square : Promedio Cuadrado
 F Value : Valor F

Pr > F
 0.xxxx > 0.05 (*) : Significativamente diferente
 0.xxxx > 0.01 (**) : Muy significativamente diferente
 0.xxxx < 0.05 (ns) : No Significativo

Dependent Variable: VolAc_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	32264.33333	16132.16667	176.31	0.0056 **
BLOQ	1	1.50000	1.50000	0.02	0.9098 ns
Error	2	183.00000	91.50000		

R-Square 0.994360 Coeff Var 8.630583 Root MSE 9.565563 VolAc_2S Mean 110.8333

Dependent Variable: VolUnProm_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	896.1296333	448.0648167	177.10	0.0056 **
BLOQ	1	0.0416667	0.0416667	0.02	0.9096 ns
Error	2	5.0600333	2.5300167		

R-Square 0.994385 Coeff Var 8.610263 Root MSE 1.590603 VolUnProm_2S Mean 18.47333

Dependent Variable: VolAc_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	9457.000000	4728.500000	14.32	0.0653 ns
BLOQ	1	66.666667	66.666667	0.20	0.6972 ns
Error	2	660.33333	330.16667		

R-Square 0.935160 Coeff Var 7.539622 Root MSE 18.17049 VolAc_3S Mean 241.0000

Dependent Variable: VolUnProm_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	142.6382333	71.3191167	32.49	0.0299 *
BLOQ	1	0.9922667	0.9922667	0.45	0.5707 ns
Error	2	4.3906333	2.1953167		

R-Square 0.970338 Coeff Var 7.967342 Root MSE 1.481660 VolUnProm_3S Mean 18.59667

Dependent Variable: VolAc_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	6306.333333	3153.166667	12.36	0.0749 ns
BLOQ	1	88.166667	88.166667	0.35	0.6162 ns
Error	2	510.333333	255.166667		

R-Square 0.926090 Coeff Var 4.235246 Root MSE 15.97394 VolAc_4S Mean 377.1667

Dependent Variable: VolUnProm_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	524.1194333	262.0597167	109.62	0.0090 **
BLOQ	1	6.2832667	6.2832667	2.63	0.2464 ns
Error	2	4.7810333	2.3905167		

R-Square 0.991067 Coeff Var 7.947890 Root MSE 1.546130 VolUnProm_4S Mean 19.45333

Dependent Variable: VolAc_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	30801.33333	15400.66667	45.47	0.0215 *
BLOQ	1	266.66667	266.66667	0.79	0.4685 ns
Error	2	677.33333	338.66667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_5S Mean
0.978664	3.571067	18.40290	515.3333

Dependent Variable: VolUnProm_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	215.1183000	107.5591500	812.69	0.0012 **
BLOQ	1	13.5000000	13.5000000	102.00	0.0097 **
Error	2	0.2647000	0.1323500		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_5S Mean
0.998844	1.842955	0.363799	19.74000

Dependent Variable: VolAc_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	61636.00000	30818.00000	59.65	0.0165 **
BLOQ	1	450.66667	450.66667	0.87	0.4489 ns
Error	2	1033.33333	516.66667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_6S Mean
0.983629	4.044538	22.73030	562.0000

Dependent Variable: VolUnProm_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	109.8067000	54.9033500	14.81	0.0633 ns
BLOQ	1	0.4873500	0.4873500	0.13	0.7517 ns
Error	2	7.4143000	3.7071500		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_6S Mean
0.937011	28.88816	1.925396	6.665000

Dependent Variable: VolAc_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	84170.33333	42085.16667	115.88	0.0086 **
BLOQ	1	140.16667	140.16667	0.39	0.5978 ns
Error	2	726.33333	363.16667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_7S Mean
0.991459	3.262242	19.05693	584.1667

Dependent Variable: VolUnProm_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	11.61333333	5.806666667	3.61	0.2167 ns
BLOQ	1	1.926666667	1.926666667	1.20	0.3878 ns
Error	2	3.21333333	1.606666667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_7S Mean
0.808197	48.13457	1.267544	2.633333

Dependent Variable: VolAc_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	93410.33333	46705.16667	97.07	0.0102 *
BLOQ	1	104.16667	104.16667	0.22	0.6875 ns
Error	2	962.33333	481.16667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_8S Mean
0.989814	3.656934	21.93551	599.8333

Dependent Variable: VolUnProm_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	3.96563333	1.982816667	7.34	0.1200 ns
BLOQ	1	0.04001667	0.04001667	0.15	0.7375 ns
Error	2	0.54063333	0.27031667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_8S Mean
0.881082	26.50399	0.519920	1.961667

ANEXO 8: Prueba de Tukey para los resultados de la producción de metano

Los resultados mostrados a continuación están ordenados de mayor a menor y diferenciados por letras mayúsculas, los cuales indican que si los tratamientos No son Significativamente Diferentes entre ellos, tendrán la misma letra.

Donde:

- VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
- VolUnProm_xS: Volumen unitario promedio semanal de la seman. X
- TG : Tukey Grouping (Agrupamiento de Tukey)
- Mean : Promedio
- TRAT : Tratamientos

Prueba de Tukey para VolAc_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	202.500	2	T1
B	107.000	2	T3
C	23.000	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	33.750	2	T1
B	17.835	2	T3
C	3.835	2	T2

Prueba de Tukey para VolAc_3S

TG	Mean	N	TRAT
A	287.50	2	T1
A	245.00	2	T3
A	190.50	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_3S

TGroup	Mean	N	TRAT
A	23.930	2	T2
B A	19.715	2	T3
B	12.145	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_4S

TG	Mean	N	TRAT
A	419.00	2	T2
A	372.50	2	T1
A	340.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_4S

TG	Mean	N	TRAT
A	32.645	2	T2
B	13.575	2	T3
B	12.140	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	616.00	2	T2
B	475.00	2	T1
B	455.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	28.1450	2	T2
B	16.4300	2	T3
B	14.6450	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	705.00	2	T2
B	499.00	2	T1
B	482.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	12.710	2	T2
A	3.855	2	T3
A	3.430	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	751.50	2	T2
B	507.00	2	T1
B	494.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	4.600	2	T2
A	1.700	2	T3
A	1.600	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_8S

TG	Mean	N	TRAT
A	776.00	2	T2
B	520.50	2	T1
B	503.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_8S

TG	Mean	N	TRAT
A	3.0650	2	T2
A	1.6900	2	T1
A	1.1300	2	T3

ANEXO 9: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados de la producción de biogás

Donde:

VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
 VolUnProm_xS : Volumen unitario promedio semanal de la semana X.
 Sum of Squares : Suma de cuadrados
 Mean Square : Promedio Cuadrado

Pr > F
 0.xxxx > 0.05 (*) : Significativamente diferente
 0.xxxx > 0.01 (**) : Muy significativamente diferente
 0.xxxx < 0.05 (ns) : No Significativo

Dependent Variable: VolAc_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	43697.33333	21848.66667	112.24	0.0088 **
BLOQ	1	42.66667	42.66667	0.22	0.6857 ns
Error	2	389.33333	194.66667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_2S Mean
0.991177	9.600206	13.95230	145.3333

Dependent Variable: VolUnProm_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	1213.929633	606.964817	112.30	0.0088 **
BLOQ	1	1.197067	1.197067	0.22	0.6842 ns
Error	2	10.809633	5.404817		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_2S Mean
0.991183	9.597466	2.324826	24.22333

Dependent Variable: VolAc_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	91646.33333	45823.16667	519.73	0.0019 **
BLOQ	1	1040.16667	1040.16667	11.80	0.0753 ns
Error	2	176.33333	88.16667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_3S Mean
0.998101	2.073547	9.389711	452.8333

Dependent Variable: VolUnProm_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	199.7610333	99.8805167	11.22	0.0819 ns
BLOQ	1	30.7360667	30.7360667	3.45	0.2043 ns
Error	2	17.8082333	8.9041167		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_3S Mean
0.928281	6.793087	2.983977	43.92667

Dependent Variable: VolAc_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	60382.33333	30191.16667	4.69	0.1757 ns
BLOQ	1	2646.00000	2646.00000	0.41	0.5871 ns
Error	2	12871.00000	6435.50000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_4S Mean
0.830420	8.353513	80.22157	960.3333

Dependent Variable: VolUnProm_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	4638.903700	2319.451850	22.60	0.0424 *
BLOQ	1	7.526400	7.526400	0.07	0.8119 ns
Error	2	205.228300	102.614150		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_4S Mean
0.957699	13.97223	10.12986	72.50000

Dependent Variable: VolAc_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	316983.0000	158491.5000	112.37	0.0088 **
BLOQ	1	6337.5000	6337.5000	4.49	0.1681 ns
Error	2	2821.0000	1410.5000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_5S Mean
0.991350	2.531623	37.55662	1483.500

Dependent Variable: VolUnProm_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	2550.751433	1275.375717	29.03	0.0333 *
BLOQ	1	16.236150	16.236150	0.37	0.6051 ns
Error	2	87.864100	43.932050		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_5S Mean
0.966904	8.868442	6.628126	74.73833

Dependent Variable: VolAc_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	592234.3333	296117.1667	2806.80	0.0004 **
BLOQ	1	5221.5000	5221.5000	49.49	0.0196 *
Error	2	211.0000	105.5000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_6S Mean
0.999647	0.590249	10.27132	1740.167

Dependent Variable: VolUnProm_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	1031.437900	515.718950	13.92	0.0670 ns
BLOQ	1	1.100817	1.100817	0.03	0.8790 ns
Error	2	74.090833	37.045417		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_6S Mean
0.933048	16.60029	6.086495	36.66500

Dependent Variable: VolAc_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	668343.0000	334171.5000	264.76	0.0038 **
BLOQ	1	4648.1667	4648.1667	3.68	0.1950 ns
Error	2	2524.3333	1262.1667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_7S Mean
0.996263	1.907489	35.52699	1862.500

Dependent Variable: VolUnProm_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	32.69333333	16.34666667	3.50	0.2221 ns
BLOQ	1	0.66666667	0.66666667	0.14	0.7418 ns
Error	2	9.33333333	4.66666667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_7S Mean
0.781387	18.51640	2.160247	11.66667

Dependent Variable: VolAc_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	816229.0000	408114.5000	227.21	0.0044 **
BLOQ	1	7072.6667	7072.6667	3.94	0.1856 ns
Error	2	3592.3333	1796.1667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_8S Mean
0.995656	2.112722	42.38121	2006.000

Dependent Variable: VolUnProm_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	122.8519000	61.4259500	22.42	0.0427 *
BLOQ	1	3.9690667	3.9690667	1.45	0.3519 ns
Model	3	126.8209667	42.2736556	15.43	0.0615 ns
Error	2	5.4806333	2.7403167		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_8S Mean
0.958575	9.227370	1.655390	17.94000

ANEXO 10: Prueba de Tukey para los resultados de la producción de biogás

Los resultados mostrados a continuación están ordenados de mayor a menor y diferenciados por letras mayúsculas, los cuales indican que si los tratamientos **No** son Significativamente Diferentes entre ellos, tendrán la misma letra.

Donde:

VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.

VolUnProm_xS: Volumen unitario promedio semanal de la seman. X

Prueba de Tukey para VolAc_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	251.00	2	T1
B	143.00	2	T3
C	42.00	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	41.835	2	T1
B	23.835	2	T3
C	7.000	2	T2

Prueba de Tukey para VolAc_3S

TG	Mean	N	TRAT
A	594.000	2	T1
B	471.500	2	T3
C	293.000	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_3S

TG	Mean	N	TRAT
A	49.000	2	T1
A	46.925	2	T3
A	35.855	2	T2

Prueba de Tukey para VolAc_4S

TG	Mean	N	TRAT
A	1075.50	2	T2
A	974.50	2	T1
A	831.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_4S

Tukey Groupi		ng	Mean	N	TRAT
	A		111.79	2	T2
B	A		54.36	2	T1
B			51.36	2	T3

Prueba de Tukey para VolAc_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	1802.00	2	T2
B	1380.50	2	T1
B	1268.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	103.785	2	T2
B	62.430	2	T3
B	58.000	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	2183.50	2	T2
B	1544.00	2	T1
B	1493.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	54.500	2	T2
A	32.140	2	T3
A	23.355	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	2334.00	2	T2
B	1645.50	2	T1
B	1608.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	14.800	2	T2
A	11.000	2	T1
A	9.200	2	T3

Prueba de Tukey para VolAc_8S

TG	Mean	N	TRAT
A	2527.50	2	T2
B	1754.50	2	T1
B	1736.00	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_8S

Tukey			
Groupi			
ng	Mean	N	TRAT
A	24.190	2	T2
B A	16.005	2	T3
B	13.625	2	T1

ANEXO 11: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados de la calidad de biogás – porcentaje de metano (%CH4)

Donde:

VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
 VolUnProm_xS : Volumen unitario promedio diario de la semana X.
 Sum of Squares : Suma de cuadrados
 Mean Square : Promedio Cuadrado

Pr > F
 0.xxxx > 0.05 (*) : Significativamente diferente
 0.xxxx > 0.01 (**) : Muy significativamente diferente
 0.xxxx < 0.05 (ns) : No Significativo

Dependent Variable: VolAc_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	741.2017333	370.6008667	76.40	0.0129 *
BLOQ	1	13.4700167	13.4700167	2.78	0.2376 ns
Error	2	9.7017333	4.8508667		

R-Square Coeff Var Root MSE VolAc_2S Mean
 0.987308 3.141820 2.202468 70.10167

Dependent Variable: VolUnProm_2S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	862.6676333	431.3338167	49.08	0.0200 *
BLOQ	1	2.9821500	2.9821500	0.34	0.6191 ns
Error	2	17.5753000	8.7876500		

R-Square Coeff Var Root MSE VolUnProm_2S Mean
 0.980101 4.219882 2.964397 70.24833

Dependent Variable: VolAc_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	304.4149000	152.2074500	11.69	0.0788 ns
BLOQ	1	2.1241500	2.1241500	0.16	0.7254 ns
Error	2	26.0451000	13.0225500		

R-Square Coeff Var Root MSE VolAc_3S Mean
 0.921689 6.542792 3.608677 55.15500

Dependent Variable: VolUnProm_3S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	1616.963033	808.481517	64.22	0.0153 *
BLOQ	1	5.152267	5.152267	0.41	0.5878 ns
Error	2	25.178433	12.589217		

R-Square Coeff Var Root MSE VolUnProm_3S Mean
 0.984715 8.008717 3.548129 44.30333

Dependent Variable: VolAc_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	7.42773333	3.71386667	0.31	0.7663 ns
BLOQ	1	6.82666667	6.82666667	0.56	0.5321 ns
Error	2	24.35293333	12.17646667		

R-Square Coeff Var Root MSE VolAc_4S Mean
 0.369215 8.840093 3.489479 39.47333

Dependent Variable: VolUnProm_4S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	62.38440000	31.19220000	14.34	0.0652 ns
BLOQ	1	10.82726667	10.82726667	4.98	0.1554 ns
Error	2	4.35053333	2.17526667		

R-Square Coeff Var Root MSE VolUnProm_4S Mean
 0.943909 5.548828 1.474879 26.58000

Dependent Variable: VolAc_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	3.35413333	1.67706667	1.12	0.4708 ns
BLOQ	1	0.61440000	0.61440000	0.41	0.5868 ns
Error	2	2.98360000	1.49180000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_5S Mean
0.570837	3.506390	1.221393	34.83333

Dependent Variable: VolUnProm_5S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	5.11000000	2.55500000	0.40	0.7143 ns
BLOQ	1	16.10481667	16.10481667	2.52	0.2533 ns
Error	2	12.77813333	6.38906667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_5S Mean
0.624095	9.554566	2.527660	26.45500

Dependent Variable: VolAc_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	3.35413333	1.67706667	1.12	0.4708 ns
BLOQ	1	0.61440000	0.61440000	0.41	0.5868 ns
Error	2	2.98360000	1.49180000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_6S Mean
0.570837	3.506390	1.221393	34.83333

Dependent Variable: VolUnProm_6S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	5.11000000	2.55500000	0.40	0.7143 ns
BLOQ	1	16.10481667	16.10481667	2.52	0.2533 ns
Error	2	12.77813333	6.38906667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_6S Mean
0.624095	9.554566	2.527660	26.45500

Dependent Variable: VolAc_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	0.00363333	0.00181667	0.00	0.9990 ns
BLOQ	1	0.21660000	0.21660000	0.12	0.7627 ns
Error	2	3.63130000	1.81565000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_7S Mean
0.057181	4.171274	1.347461	32.30333

Dependent Variable: VolUnProm_7S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	297.0046333	148.5023167	2.09	0.3236 ns
BLOQ	1	20.9440167	20.9440167	0.29	0.6416 ns
Error	2	142.1016333	71.0508167		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_7S Mean
0.691117	49.17354	8.429165	17.14167

Dependent Variable: VolAc_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	2.65570000	1.32785000	0.55	0.6441 ns
BLOQ	1	0.74906667	0.74906667	0.31	0.6328 ns
Error	2	4.80643333	2.40321667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolAc_8S Mean
0.414649	4.959153	1.550231	31.26000

Dependent Variable: VolUnProm_8S

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	920.1126333	460.0563167	32.90	0.0295 *
BLOQ	1	63.7656000	63.7656000	4.56	0.1663 ns
Error	2	27.967900	13.983950		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VolUnProm_8S Mean
0.972360	15.76966	3.739512	23.71333

ANEXO 12: Prueba de Tukey para los resultados de la calidad de biogás – porcentaje de metano (%CH₄)

Los resultados mostrados a continuación están ordenados de mayor a menor y diferenciados por letras mayúsculas, los cuales indican que si los tratamientos No son Significativamente Diferentes entre ellos, tendrán la misma letra.

Donde:

- VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
- VolUnProm_xS: Volumen unitario promedio semanal de la seman. X
- TG : Tukey Grouping (Agrupamiento de Tukey)
- Mean : Promedio
- TRAT : Tratamientos

Prueba de Tukey para VolAc_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	80.785	2	T1
A	74.745	2	T3
B	54.775	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_2S

TG	Mean	N	TRAT
A	82.870	2	T1
A	73.745	2	T3
B	54.130	2	T2

Prueba de Tukey para VolAc_3S

TG	Mean	N	TRAT
A	65.030	2	T2
A	51.940	2	T3
A	48.495	2	T1

Prueba de Tukey para VolUnProm_3S

TG	Mean	N	TRAT
A	65.610	2	T2
B	41.635	2	T3
B	25.665	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_4S

TG	Mean	N	TRAT
A	41.000	2	T3
A	39.040	2	T2
A	38.380	2	T1

Prueba de Tukey para VolUnProm_4S

TG	Mean	N	TRAT
A	30.630	2	T2
A	26.370	2	T3
A	22.740	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	35.880	2	T3
A	34.440	2	T1
A	34.180	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_5S

TG	Mean	N	TRAT
A	27.205	2	T2
A	27.005	2	T3
A	25.155	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	35.880	2	T3
A	34.440	2	T1
A	34.180	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_6S

TG	Mean	N	TRAT
A	27.205	2	T2
A	27.005	2	T3
A	25.155	2	T1

Prueba de Tukey para VolAc_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	32.335	2	T1
A	32.300	2	T3
A	32.275	2	T2

Prueba de Tukey para VolUnProm_7S

TG	Mean	N	TRAT
A	27.030	2	T2
A	13.155	2	T1
A	11.240	2	T3

Prueba de Tukey para VolAc_8S

TG	Mean	N	TRAT
A	32.200	2	T2
A	30.825	2	T1
A	30.755	2	T3

Prueba de Tukey para VolUnProm_8S

Tukey Groupi	ng	Mean	N	TRAT
A		40.435	2	T2
B	A	19.860	2	T3
B		10.845	2	T1

ANEXO 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para los resultados del análisis de nutrientes del biol

Donde:

Sum of Squares : Suma de cuadrados
 Mean Square : Promedio Cuadrado
 F Value : Valor F

Pr > F
 0.xxxx < 0.05 (*) : Significativamente diferente
 0.xxxx < 0.01 (**) : Muy significativamente diferente
 0.xxxx > 0.05 (ns) : No Significativo

Dependent Variable: pH

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	0.01140000	0.00570000	0.76	0.5088 ns
BLOQ	3	0.02806667	0.00935556	1.24	0.3738 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pH Mean
0.466509	1.189722	0.086731	7.290000

Dependent Variable: CE

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	14.91455000	7.45727500	702.96	<.0001 **
BLOQ	3	0.00510000	0.00170000	0.16	0.9193 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	CE Mean
0.995752	1.605561	0.102997	6.415000

Dependent Variable: Solidos Totales

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	31.45695000	15.72847500	118.61	<.0001 **
BLOQ	3	0.53542500	0.17847500	1.35	0.3452 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	SolidosTotales Mean
0.975734	5.549017	0.364154	6.562500

Dependent Variable: MO en solución

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	5.51760000	2.75880000	48.61	0.0002 **
BLOQ	3	0.28306667	0.09435556	1.66	0.2727 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	MOensolucion Mean
0.944549	6.155924	0.238234	3.870000

Dependent Variable: N total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	21126.96000	10563.48000	2.37	0.1743 ns
BLOQ	3	15172.30667	5057.43556	1.13	0.4075 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Ntotal Mean
0.575816	18.43657	66.75884	362.1000

Dependent Variable: P total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	411.3117167	205.6558583	14.02	0.0055 **
BLOQ	3	47.5360917	15.8453639	1.08	0.4258 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Ptotal Mean
0.839090	8.489495	3.829541	45.10917

Dependent Variable: K total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	511981.1667	255990.5833	189.79	<.0001 **
BLOQ	3	8024.9167	2674.9722	1.98	0.2180 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Ktotal Mean
0.984676	5.194025	36.72609	707.0833

Dependent Variable: Ca total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	111182.0600	55591.0300	327.41	<.0001 **
BLOQ	3	785.3700	261.7900	1.54	0.2978 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Catotal Mean
0.990983	5.213182	13.03035	249.9500

Dependent Variable: Mg total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	5820.666667	2910.333333	91.91	<.0001 **
BLOQ	3	184.000000	61.333333	1.94	0.2250 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Mgtotal Mean
0.969328	4.865113	5.627314	115.6667

Dependent Variable: Na total

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	83859.50000	41929.75000	174.24	<.0001 **
BLOQ	3	848.91667	282.97222	1.18	0.3944 ns

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Natotal Mean
0.983241	5.515570	15.51254	281.2500

ANEXO 14: Prueba de Tukey para los resultados del análisis de nutrientes del biol

Los resultados mostrados a continuación están ordenados de mayor a menor y diferenciados por letras mayúsculas, los cuales indican que si los tratamientos No son Significativamente Diferentes entre ellos, tendrán la misma letra.

Donde:

- VolAc_xS : Volumen acumulado de la Semana X.
- VolUnProm_xS: Volumen unitario promedio diario de la seman. X
- TG : Tukey Grouping (Agrupamiento de Tukey)
- Mean : Promedio
- TRAT : Tratamientos

Prueba de Tukey para pH

TG	Mean	N	TRAT
A	7.33000	4	Trat2
A	7.28500	4	Trat1
A	7.25500	4	Trat3

Prueba de Tukey para CE

TG	Mean	N	TRAT
A	7.91750	4	Trat2
B	6.07750	4	Trat3
C	5.25000	4	Trat1

Prueba de Tukey para Solidos Totales

TG	Mean	N	TRAT
A	8.4800	4	Trat2
B	6.6875	4	Trat3
C	4.5200	4	Trat1

Prueba de Tukey para MO en solucion

TG	Mean	N	TRAT
A	4.6400	4	Trat2
B	3.9800	4	Trat3
C	2.9900	4	Trat1

Prueba de Tukey para N total

TG	Mean	N	TRAT
A	420.00	4	Trat1
A	344.40	4	Trat2
A	321.90	4	Trat3

Prueba de Tukey para Ptotal

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	52.033	4	Trat3
B A	45.580	4	Trat2
B	37.715	4	Trat1

Prueba de Tukey para Ktotal

TG	Mean	N	TRAT
A	976.75	4	Trat2
B	669.50	4	Trat3
C	475.00	4	Trat1

Prueba de Tukey para Catotal

TG	Mean	N	TRAT
A	371.500	4	Trat2
B	242.250	4	Trat3
C	136.100	4	Trat1

Prueba de Tukey para Mg total

TG	Mean	N	TRAT
A	145.500	4	Trat2
B	108.500	4	Trat3
C	93.000	4	Trat1

Prueba de Tukey para Na total

TG	Mean	N	TRAT
A	390.50	4	Trat2
B	265.75	4	Trat3
C	187.50	4	Trat1

ANEXO 15: Figura de la tabla de entalpías de diferentes sustancias gaseosas y líquidas

Tabla A3.8. Entalpía estándar de formación h_f^\ominus , función de Gibbs estándar de formación g_f^\ominus , y entropía estándar s^\ominus , todo ello a $T^\ominus=298,15$ K y $p^\ominus=100$ kPa.

Sustancia	Fórmula	h_f^\ominus [kJ.mol ⁻¹]	g_f^\ominus [kJ.mol ⁻¹]	s^\ominus [J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
Acetileno (etino)	C ₂ H ₂ (g)	226,73	209,17	200,85
Agua	H ₂ O(l)	-285,83	-237,18	69,95
Agua (estado ideal de vapor)	H ₂ O(g)	-241,82	-228,59	188,72
Amoníaco	NH ₃ (g)	-46,19	-16,59	192,33
Azufre (rómbrico)	S(s)	0	0	31,80
Benceno	C ₆ H ₆ (l)	49,10	124,40	173,30
n-Butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,15	-15,71	310,03
Carbono (grafito)	C(s)	0	0	5,74
n-Decano	C ₁₀ H ₂₂ (l)	-289,56		
Dióxido de azufre	SO ₂ (g)	-296,83	-300,19	248,11
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	-393,52	-394,38	213,67
Dióxido de nitrógeno	NO ₂ (g)	33,18	51,30	239,95
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-84,68	-32,89	229,49
Etanol	C ₂ H ₆ O(l)	-277,69	-174,89	160,70
Etileno (eteno)	C ₂ H ₄ (g)	52,28	68,12	219,83
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	0	130,57
Hidrógeno atómico	H(g)	218,00	203,29	114,61
Hidroxilo	OH(g)	39,46	34,28	183,75
Metano	CH ₄ (g)	-74,85	-50,79	186,16
Metanol	CH ₄ O(l)	-238,81	-166,29	126,80
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,53	-137,15	197,56
Monóxido de nitrógeno	NO(g)	90,25	86,57	210,65
Nitrógeno	N ₂ (g)	0	0	191,50
Nitrógeno atómico	N(g)	472,68	455,51	153,19
n-Octano	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,95	6,60	360,90
Oxígeno	O ₂ (g)	0	0	205,04
Oxígeno atómico	O(g)	249,17	231,77	160,95
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂ (g)	-136,31	-105,60	232,63
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-103,85	-23,49	269,91
Propileno (propeno)	C ₃ H ₆ (g)	20,41	62,72	266,94

Fuente: Martínez, 1992

ANEXO 16: Resultado del análisis de %C, %N y relación C/N de las muestras



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 : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHO - CHOSICA/
PARQUE ZOOLOGICO DE HUACHIPA
MUESTRA DE : EXCRETAS DE ANIMALES
REFERENCIA : H.R. 51785
FACTURA : 29802
FECHA : 28/10/15

Nº LAB	CLAVES	C %	N %	Relación C/N
700	Muestra 1	25.65	1.25	20.52
701	Muestra 2	39.31	1.45	27.11
702	Muestra 3	31.10	1.30	23.92


Dr. Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

ANEXO 17: Resultados del análisis Físico-químico del agua de pozo del Parque Zoológico de Huachipa



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147900 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 002759

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
PROYECTO : Calidad de Biogas y Biot con excretas de los animales del parque Zoológico de Huachipa
PROCEDENCIA : Pozo de agua del Zoológico de Huachipa
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de Noviembre del 2015

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



ING. ANTONIO ENCISO GUTIÉRREZ
JEFE DE LABORATORIO



Facultad de Ing. Agrícola
UNALM OBTINIDA

VALORES PAUTAS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA POTABLE

PARÁMETROS UNIDADES	R.D. 339 - 87 - ITINTEC - D6 87 - 06 - 22	
	Valor máximo recomendable	Valor máximo admisible
Turbiedad NTU	3	5
Sólidos Totales mg/L	500	1.000
Fierro mg/L	--	0.3
Plomo mg/L	--	0.05
Cobre mg/L	--	1.0
Cadmio mg/L	--	0.005
Manganeso mg/L	--	0.1
Zinc mg/L	--	5.0
Boro mg/L	--	--
Magnesio mg/L	30	--
Sulfatos mg/L	250	400
Cloruros mg/L	250	600
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	250	--
Alcalinidad Total mg CaCO ₃ /L	120	--
pH	6.5 - 8.5	--
Nitrato mg/L	--	45
Sodio mg/L	--	100

Elemento	Límite de Detección*
Hierro	0.08
Cobre	0.035
Zinc	0.012
Manganeso	0.03
Plomo*	0.3
Cadmio*	0.012
Cromo	0.05
Calcio	0.025
Magnesio	0.0035
Sodio	0.007
Potasio	0.02

* Equipo de Absorción atómica

ANEXO 18: Resultados del análisis microbiológico del biol antes del proceso de fermentación del tratamiento 1, 2 y 3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1511524 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO :
 MUESTRA : MEZCLAS INICIALES PARA BIOL
 1511524)

PROCEDENCIA : Zoológico de Huachipa
 TIPO DE ENVASE : Frasco de vidrio
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 300 ml aprox.
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
 FECHA DE MUESTREO : 2015 - 11 - 12
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2015 - 11 - 12
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 13
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 19

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1511524
1.Enumeración de coliformes totales (NMP/g)	70 x 10 ⁴
2.Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)	70 x 10 ⁴

Método:
 1. International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II. (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 23 de noviembre de 2015


 DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1511525 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO :
 MUESTRA : MEZCLAS INICIALES PARA BIOL
 1511525)

PROCEDENCIA : Zoológico de Huachipa
 TIPO DE ENVASE : Frasco de vidrio
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 300 ml aprox.
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
 FECHA DE MUESTREO : 2015 - 11 - 12
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2015 - 11 - 12
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 13
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 19

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1511525
1.Enumeración de coliformes totales (NMP/g)	40 x 10 ²
2.Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)	40 x 10 ²

Método:
 1. International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II. (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 23 de noviembre de 2015


 DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1511526 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : MEZCLAS INICIALES PARA BIOL
1511526)

PROCEDENCIA : Zoológico de Huachipa
TIPO DE ENVASE : Frasco de vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 300 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2015 - 11 - 12
FECHA DE RECEPCIÓN : 2015 - 11 - 12
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 13
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2015 - 11 - 19

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1511526
1Enumeración de coliformes totales (NMPg)	40 x 10 ⁴
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)	40 x 10 ⁴

Método:

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II. (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
Validez del documento:
Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 23 de noviembre de 2015

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina
Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☎ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

ANEXO 19: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601008 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO :
MUESTRA : BIOL
1601008)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601008
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	4
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	4

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016


DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

□ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601009 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO :
MUESTRA : BIOL
1601009)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601009
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	7
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

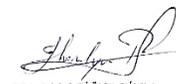
Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016


DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

□ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601010 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601010)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601010
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	150
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	150

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
Validez del documento:
Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601011 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601011)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601011
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	28
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	21

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
Validez del documento:
Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

ANEXO 20: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601012 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
 MUESTRA : BIOL
 1601012)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 2)
 TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
 FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601012
*Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	> 11 x 10 ²
*Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	> 11 x 10 ²

Método:
 *International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 ☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601013 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
 MUESTRA : BIOL
 1601013)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 2)
 TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
 FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601013
*Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	7
*Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	7

Método:
 *International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 ☐ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601014 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601014)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601014
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	23
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	9

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
Validez del documento:
Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016


DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina
Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: imt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

□ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601015 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601015)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601015
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	93
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	43

Método:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
Validez del documento:
Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016


DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina
Teléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: imt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

□ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

ANEXO 21: Resultados del análisis microbiológico del biol al final del proceso de fermentación del tratamiento 3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601016 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
 1601016)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1 y zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601016
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	1100
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	150

Método:
 ¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 ☎ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
 Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1601018 - LMT

SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
 1601018)

PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1 y zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601018
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	4
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	4

Método:
 ¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:
 Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.
 Validez del documento:
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso"
 Universidad Nacional Agraria La Molina
 Teléfono: 614 7800 anexo 274
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"
 ☎ (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
 Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274**INFORME DE ENSAYO N° 1601019 - LMT**SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601019)PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1 y zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12**RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Análisis Microbiológico	Muestra 1601019
1Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	> 11 x 10 ²
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	> 11 x 10 ²

Método:

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La MolinaTeléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

|| (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274**INFORME DE ENSAYO N° 1601017 - LMT**SOLICITANTE : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : BIOL
1601017)PROCEDENCIA : Huachipa (zona 1 y zona 2)
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 04
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 12**RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Análisis Microbiológico	Muestra 1601017
1Enumeración de coliformes totales (NMP/mL)	23
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	23

Método:

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 18 de enero de 2016

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La MolinaTeléfono: 614 7800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

|| (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

ANEXO 22: Resultados del análisis de macronutrientes y materia orgánica del biol al final del proceso de fermentación de los tres tratamientos



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 : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 PROCEDENCIA : LIMA
 MUESTRA DE : BIOL
 REFERENCIA : H.R. 52738
 FACTURA : 35141
 FECHA : 14/01/16

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
003	B 1.1	7.17	5.25	4.32	2.88	397.60	38.79	472.00
004	B 1.2	7.21	5.22	4.69	3.08	386.40	42.73	484.00
005	B 2.1	7.31	7.93	9.00	4.84	352.80	47.26	1048.00
006	B 2.2	7.35	7.90	8.72	4.72	212.80	45.85	1014.00
007	B 3.1	7.29	6.09	7.07	4.24	336.00	51.47	690.00
008	B 3.2	7.25	6.12	6.28	3.60	313.60	47.10	666.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
003	B 1.1	145.00	94.00	186.00
004	B 1.2	144.60	96.00	188.00
005	B 2.1	369.00	151.00	415.00
006	B 2.2	374.00	152.00	410.00
007	B 3.1	242.00	112.00	272.00
008	B 3.2	227.00	105.00	262.00



Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

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



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 : BLADIMIR VALDEZ LLANTOY
 PROCEDENCIA : LIMA
 MUESTRA DE : BIOL
 REFERENCIA : H.R. 52738
 FACTURA : 35141
 FECHA : 14/01/16

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
009	M 1.1	7.26	5.38	4.80	3.24	408.80	40.23	494.00
010	M 1.2	7.50	5.15	4.28	2.76	487.20	31.11	450.00
011	M 2.1	7.28	7.81	8.40	4.80	476.00	46.48	955.00
012	M 2.2	7.38	8.03	7.80	4.20	336.00	42.73	890.00
013	M 3.1	7.24	6.13	6.80	4.08	302.40	56.78	660.00
014	M 3.2	7.24	5.97	6.60	4.00	336.00	52.78	662.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
009	M 1.1	149.80	100.00	196.00
010	M 1.2	105.00	82.00	180.00
011	M 2.1	377.00	143.00	377.00
012	M 2.2	366.00	136.00	360.00
013	M 3.1	256.00	108.00	262.00
014	M 3.2	244.00	109.00	267.00



Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

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