ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA A PARTIR DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

GABRIELA ALEXANDRA BARRERA SÁNCHEZ
gaby.barrera75@gmail.com

MARÍA FERNANDA MANOBANDA LISINTUÑA
marifer091994@gmail.com

DIRECTOR: DRA. CRISTINA ALEJANDRA VILLAMAR AYALA
cristina.villamar@usach.cl

CO-DIRECTOR: MSc. NATHALIA TERESA VALENCIA BONILLA
nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2018

DECLARACIÓN

Nosotras, Gabriela Barrera y María Fernanda Manobanda, declaramos que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

GABRIELA ALEXANDRA BARRERA SÁNCHEZ

MARÍA FERNANDA MANOBANDA LISINTUÑA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Alexandra Barrera Sánchez y María Fernanda Manobanda Lisintuña, bajo mi supervisión.

DRA. CRISTINA VILLAMAR	**MSc. NATHALIA VALENCIA**
DIRECTOR DEL PROYECTO	**CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de Agua Santa, por permitirme realizar uno de los más grandes sueños de mi vida. Gracias por acompañarme cuando se presentaron momentos difíciles en este largo camino.

A mis padres y hermano, por la confianza brindada y el apoyo incondicional. Mi agradecimiento eterno por la paciencia y el cariño. A mi madre, que nunca dudo de mi capacidad para poder cristalizar mi sueño. A mis abuelitos, tíos y primos, quienes estuvieron presentes y sus palabras de apoyo hicieron que jamás me rinda.

A Álvaro, por su amor, paciencia y consejos, gracias por caminar a mi lado, compartir esta etapa juntos y no dejarme sola en ningún momento, hemos hecho de esto una experiencia inolvidable.

A Mafer, mi compañera, gracias por aceptar realizar este trabajo a mi lado, el cual se convirtió en un reto y a la vez en nuestro más grande orgullo. A mis amigos y compañeros, por los momentos compartidos, gracias por todos estos años en las aulas.

A la Dra. Cristina A. Villamar, mi profundo agradecimiento por el apoyo incondicional, los consejos y el cariño hacia nosotras, que a pesar de la distancia siempre nos acompañó y nos enseñó que los límites solo nos ponemos nosotros mismos.

Por último, al Grupo Casa Grande, por permitirnos realizar nuestro trabajo, en especial a los Ing. Iván Chávez y Diego Morillo por las facilidades prestadas para la ejecución de la etapa experimental de este trabajo.

Gaby

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme fuerza día a día para afrontar los retos que se presentan y cumplir mis metas. Además, por bendecirme con una familia maravillosa en la cual nunca ha faltado el amor.

A mis padres, quienes me han sido mi apoyo durante toda esta etapa y con amor me han enseñado que lo más importante que ellos pueden darme en la vida es la oportunidad de ser una excelente profesional. A mis hermanos: Luis y Víctor, que se preocupan por mí en todo momento. A mi tía Elena que ha formado parte de mi vida siendo mi amiga y siempre ha estado pendiente para que cada meta que me he planteado se pueda cumplir.

A Gaby, por los años de amistad, por haber compartido este gran reto y haberlo culminado con éxito. A tu familia que ha sido un importante apoyo en el desarrollo de nuestro proyecto de titulación, especialmente a tu mami por su ayuda ante cualquier situación que se nos presentaba.

A mis amigos del colegio: Bryan y Liz, por su amistad incondicional desde cuando éramos colegiales. A Lichita y Taty por brindarme su amistad incondicional durante mi etapa universitaria.

A la Dra. Cristina Villamar, por compartir sus conocimientos y ser nuestra guía durante la elaboración de este trabajo, por la paciencia y dedicación brindada y por alentarnos siempre a dar nuestro mejor esfuerzo para alcanzar el éxito.

Finalmente, al Grupo Casa Grande y en especial al Ing. Diego Morillo por el apoyo prestado durante la realización de la parte experimental de este proyecto.

Mafer

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, mi hermano y mi familia, quienes se convirtieron en mi inspiración para convertir mis ideas en realidades. Mi cariño eterno para ustedes, están en mi corazón siempre.

A mi abuelita, Lidia, cuyo sueño fue siempre verme como profesional y quien me ha acompañado en cada paso que he dado, sintiéndose orgullosa de mi. Con cariño para usted.

A mi amigo y compañero incondicional Álvaro, con sus palabras me alentó en cada decisión que tomé y me permitió tomar su mano y caminar en estos últimos semestres juntos, con mucho amor.

A todas las personas que confiaron en mí, en mis capacidades y tuvieron una palabra de aliento a lo largo de mi carrera universitaria, este trabajo va dedicado para ustedes con mucho cariño.

Gaby

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Elena y Jorge, sin ustedes no hubiera sido posible cumplir esta meta. Por el enorme esfuerzo que hacen día a día para darme lo mejor, este logro es nuestro y seguiré luchando para que ustedes no se sientan defraudados.

A mis hermanos y familiares por estar siempre alentándome a esforzarme y ser mejor, ustedes han sido muy importantes para lograr cumplir mis metas.

A aquellos que estuvieron presentes para apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria que confiaron en mí y nunca dudaron de mi capacidad. Para ustedes mis mejores deseos y que todas sus metas se cumplan.

Mafer

CONTENIDO

DECLARACIÓN II

CERTIFICACIÓN III

AGRADECIMIENTOS IV

AGRADECIMIENTOS V

DEDICATORIA VI

DEDICATORIA VII

CONTENIDO VIII

ÍNDICE DE TABLAS XIII

ÍNDICE DE FIGURAS XIV

ÍNDICE DE ANEXOS XVI

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS XVII

RESUMEN XXI

ABSTRACT XXII

PRESENTACIÓN XXIII

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. ANTECEDENTES 1

1.2. OBJETIVOS 2

1.2.1. OBJETIVO GENERAL 2

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

1.3. ALCANCE 3

1.4. JUSTIFICACIÓN 4

CAPÍTULO II 6

2. MARCO TEÓRICO 6

2.1. PROCESO PRODUCTIVO 6

2.1.1. ETAPA DE INCUBACION 7

2.1.2. ETAPA DE LEVANTE 7

2.1.3. ETAPA DE PRODUCCIÓN O POSTURA 8

2.1.4. ETAPA DE ENGORDE 8

2.1.5. ETAPA DE SACRIFICIO 9

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS 13

2.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 17

2.3.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA 17

2.3.2. CONTAMINACIÓN DEL SUELO 18

2.3.3. CONTAMINACIÓN DEL AIRE 18

2.3.4. EFECTO DE LA BIOTA 19

2.4. ALTERNATIVAS DE REVALORIZACIÓN 20

2.4.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA 23

CAPITULO III 29

3. METODOLOGÍA 29

3.1. TRABAJO DE CAMPO 29

3.1.1. PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS 29

3.1.2. MUESTREO DE LOS RESIDUOS 32

3.2. MODELO EXPERIMENTAL 34

3.2.1. DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL 34

3.3. ANÁLISIS ANALÍTICO 38

3.3.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS 38

3.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 39

3.4. ANÁLISIS DE DATOS 39

3.4.1. TRATAMIENTO DE DATOS 39

CAPITULO IV 42

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

4.1. ENSAYO DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA DEL INÓCULO 42

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS RESIDUOS 43

4.2.1. SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES 43

4.2.2. POTENCIAL HIDRÓGENO Y RELACIÓN ALCALINIDAD INTERMEDIA / ALCALINIDAD TOTAL 45

4.2.3. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL Y RELACIÓN C/N 47

4.2.4. DENSIDAD Y HUMEDAD 49

4.3. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 50

4.4. DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA QUE OPTIMIZA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 52

4.4.1. ELIMINACIÓN DE PRODUCTOS 52

4.4.2. PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DE BIOGÁS 63

CAPÍTULO V 68

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68

5.1. CONCLUSIONES 68

5.2. RECOMENDACIONES 69

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS 79

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 VALORES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DIFERENTES RESIDUOS AVÍCOLAS.....16

TABLA 2.2 PROBLEMAS AMBIENTALES OCASIONADOS POR LOS RESIDUOS AVÍCOLAS.....20

TABLA 2.3 ALTERNATIVAS DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS.....21

TABLA 2.4 CAPACIDAD CALORÍFICA DE LA GALLINAZA Y POLLINAZA (GJ/KG).....23

TABLA 2.5 VALORES QUE CONDICIONAN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....24

TABLA 3.1 MEZCLAS DE RESIDUOS OBJETO DE ESTUDIO.....36

TABLA 3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE RESIDUOS.....38

TABLA 4.1 VALORES DE P ENTRE ENSAYOS PARA LA PRUEBA DE TURKEY.....64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA 11

FIGURA 2.2 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE HUEVOS EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA 12

FIGURA 2.3 ESQUEMA DE REACCIONES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA 27

FIGURA 3.1 UBICACIÓN GRANJA PATATE 30

FIGURA 3.2 UBICACIÓN GRANJA LA MORAVIA 31

FIGURA 3.3 UBICACIÓN FAENADORA PURA PECHUGA 32

FIGURA 3.4 MUESTREO DE GALLINAZA 33

FIGURA 3.5 ENSAYO AME EN EL INÓCULO 35

FIGURA 3.6 MODELO EXPERIMENTAL 37

FIGURA 3.7 MEDICIÓN DE BIOGÁS.....39

FIGURA 4.1 PROCUCCIÓN ACUMULADA DE METANO EN EL INÓCULO 42

FIGURA 4.2 SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES DE LAS MUESTRAS ANTES DEL TRATAMIENTO 43

FIGURA 4.3 RELACIÓN ALCALINIDAD INTERMEDIA/ ALCALINIDAD TOTAL Y POTENCIAL HIDRÓGENO ANTES DEL TRATAMIENTO 45

FIGURA 4.4 NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL Y RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO DE LAS MUESTRAS ANTES DEL TRATAMIENTO 47

FIGURA 4.5 DENSIDAD Y HUMEDAD ANTES DEL TRATAMIENTO 49

FIGURA 4.6 PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS (mL / día) 51

FIGURA 4.7 CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA 53

FIGURA 4.8 CONTENIDO DE SÓLIDOS VOLÁTILES DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA 54

FIGURA 4.9 RELACIÓN AI/AT DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA 56

FIGURA 4.10 NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA 57

FIGURA 4.11 RELACION C/N DESPUÉS DE LA DEGRADACIÓN ANAEROBIA 58

FIGURA 4.12 POTENCIAL HIDRÓGENO DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA 60

FIGURA 4.13 DENSIDAD DESPUÉS DEL TRATAMIENTO 61

FIGURA 4.14 PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL TRATAMIENTO 61

FIGURA 4.15 PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DIARIA DE BIOGÁS 63

FIGURA 4.16 PRODUCCIÓN ACUMULADA DE BIOGÁS (L / g SV) PARA LAS 8 MEZCLAS DE RESIDUOS ANALIZADA.....66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I INFORME DE ANÁLISIS INICIAL DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO CESTTA.....79

ANEXO II REGISTRO DE PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS.....89

ANEXO III INFORME DE ANÁLISIS FINAL DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO CESTTA.....91

ANEXO IV REGISTRO DE PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DIARIA DE BIOGÁS.....100

ANEXO V ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....102

ANEXO VI REGISTRO PRODUCCIÓN ACUMULADA ESPECÍFICA DE BIOGÁS.....104

ANEXO VII ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN 106

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

AGV: Ácidos Grasos Volátiles

AI: Alcalinidad Intermedia

AINIA: Instituto Tecnológico de la Industria Agroalimentaria

AT: Alcalinidad Total

AI/AT: Relación de Alcalinidades

AME: Actividad Metanogénica Específica

CESTTA – ESPOCH: Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental

CH_4: Metano

C/N: Relación Carbono/ Nitrógeno

CONAVE: Comité Nacional para la Vigilancia Epidemiológica

CO: Monóxido de Carbono

COT: Carbono Orgánico Total

COV's: Compuestos Orgánicos Volátiles

CO_2: Dióxido de Carbono

DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días

DQO: Demanda química de oxígeno

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

GA: Gallinaza

HC: Hidrocarburos

H_2: Hidrógeno molecular

H_2O: Agua

H_2S: Ácido Sulfhídrico

%H: Porcentaje de Humedad

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

LDIA: Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental

M01: Muestra 1

M02: Muestra 2

M03: Muestra 3

M04: Muestra 4

M05: Muestra 5

M06: Muestra 6

M07: Muestra 7

M08: Muestra 8

NaCl: Cloruro de Sodio

NH_3: Amoniaco

N-NH_4: Nitrógeno amoniacal

NOx: Óxidos de Nitrógeno

NO_2: Dióxido de Nitrógeno

NT: Nitrógeno Total

NTK: Nitrógeno Total Kjendhal

ρ: Densidad

pH: Potencial Hidrógeno

PIB: Producto Interno Bruto

PM: Material Particulado

PO: Pollinaza

PT: Fósforo Total

SOx: Óxidos de Azufre

ST: Sólidos Totales

SV: Sólidos Volátiles

VI: Vísceras

%v/v: Relación Volumen/ Volumen

RESUMEN

La generación de energía mediante digestión anaerobia es factible en el sector avícola, gracias a la composición orgánica de los residuos que genera. A nivel de granjas, el sector avícola genera residuos tanto en la etapa de crianza animal (excretas y animales muertos) como en la de faenamiento (vísceras, plumas, entre otros residuos). Sin embargo, la gallinaza (GA), pollinaza (PO) y vísceras (VI) se constituyen en los residuos más representativos generados en esta industria. Por lo cual, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el potencial energético de distintas mezclas de GA, PO y VI a escala laboratorio para identificar la muestra que optimiza la producción de biogás.

El modelo experimental, estudió a escala laboratorio 8 combinaciones de residuos (GA, PO y VI) en diferentes proporciones correspondientes a: M01, M02, M03, M04, M05, M06 M07 y M08. Reactores discontinuos fueron incubados a 38 °C e inoculados con lodo anaerobio de un biodigestor tubular de residuos líquidos procedentes del camal metropolitano de la Ciudad de Quito, cuya relación sustrato/inóculo fue de 1/3. El biogás producido por cada experimento se controló dos veces a la semana y las características fisicoquímicas de cada mezcla se evalúo antes y después del ensayo.

Los resultados obtenidos mostraron que la producción de biogás se optimiza cuando se mezclan los tres residuos objeto de estudio, la máxima producción de biogás se obtuvo en el reactor M05 correspondiente a proporciones en volumen de GA, PO y VI de 50:25:25 con un valor de 0,44 L /g SV, el cual es 3,6 veces mayor a la producción mínima de biogás.

Palabras clave: Digestión anaerobia, biogás, residuos avícolas

ABSTRACT

The energy generation through anaerobic digestion is feasible in the poultry industry, thanks to the organic composition of the waste it generates. At the farm level, the poultry industry generates waste both in the stage of animal rearing (manures and dead animals) and in slaughter (intestinal wastes, feathers and other residues). However, the hen manure (HM), chicken manure (CM) and intestinal wastes (IW) constitute the most representative waste generated in this industry. Therefore, the objective of this research work was to evaluate the energy potential of different mixtures of HM, CM and IW at laboratory scale to identify the sample that optimizes the production of biogas.

The experimental model studied at laboratory scale 8 assays of waste combinations (HM, CM and IW) in different proportions corresponding to: M01, M02, M03, M04, M05, M06 M07 and M08. Batch reactors were incubated at 38 ° C and inoculated with anaerobic sludge from a tubular biodigester of waste water from the Municipal Slaughterhouse of Quito, whose substrate / inoculum ratio was 1/3. The biogas produced by each assay was monitored twice a week and the physical-chemical characteristics of each mixture were evaluated before and after the test.

Results evidenced that the biogas production is optimized when the three poultry wastes are mixed, the maximum biogas production was obtained in the mixture M05 corresponding to proportions in volume of HM, CM and IW of 50:25:25 with a value of 0.44 L / g SV, which is 3.6 times higher than the minimum biogas production.

Key words: Anaerobic digestion, biogas, poultry wastes

.

PRESENTACIÓN

En los últimos años el incremento en el consumo de carne de ave ocasionó que la industria avícola experimente un crecimiento a nivel mundial, lo cual permitió abastecer la demanda de los consumidores. Los volúmenes de generación de residuos de estas industrias y los efectos que produce su descomposición ha sido considerada como amenaza para el ser humano y el ambiente.

Los problemas ambientales se producen debido a la falta de gestión de los residuos, sin embargo, es importante buscar alternativas que permitan la valorización de los mismos. Varias empresas han implementado un sistema de compostaje con la finalidad de aprovechar al máximo los beneficios que estos subproductos generan, no obstante, su sistema productivo tiene deficiencias lo cual hace que existan pérdidas energéticas considerables debido a la degradación en los procesos.

Por todo lo mencionado se cree conveniente realizar el estudio del potencial energético mediante digestión anaerobia de residuos avícolas, lo cual permitirá determinar la cantidad de energía (biogás) que puede ser aprovechada. Este trabajo se esquematiza en cinco capítulos, los cuales se detalla a continuación:

En el Capítulo I, se describe la introducción, objetivos, alcance y justificación de este trabajo de investigación.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico, el cual detalla el proceso productivo de la industria avícola con cada una de las etapas previas a la obtención del producto consumible, así como de los residuos usados para la presente investigación, de igual forma se encuentra las características de los residuos avícolas, la problemática ambiental que ocasionan los mismos y por último las alternativas de revalorización que pueden ser utilizadas para su aprovechamiento energético.

El Capítulo III, contiene la metodología que se fue usada para el desarrollo de este estudio, describe el trabajo de campo, procedencia de los residuos y muestreo de los mismos, además detalla las características del modelo experimental, la metodología del análisis analítico de los resultados y el análisis de datos.

En el Capítulo IV, se encuentran los resultados y la discusión de los mismos, en donde se ha realizado comparaciones de las características físico-químicas antes y después de la biodegradación anaerobia, también, se presenta los resultados de la producción de biogás diaria y acumulada permitiendo determinar cuál de las ocho mezclas fue la que mayor cantidad de biogás generó.

El Capítulo V describe las conclusiones y recomendaciones que se han obtenido luego del desarrollo de la investigación.

Al final del documento se encuentran las referencias y los anexos referentes a este estudio.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La industria avícola ha basado su estrategia de desarrollo en la consolidación de la cadena agroindustrial, creando alianzas estratégicas entre los productores de las materias primas, los industriales como son los dedicados a la crianza y procesamiento de las aves, y los abastecedores avícolas.

Así mismo, los avances tecnológicos han influenciado en el crecimiento del sector, pasando de un sistema extensivo a los sistemas intensivos que permiten incrementar la producción en periodos de tiempo más cortos, en espacios reducidos y con menor mano de obra.

La producción mundial de aves de corral en el 2016 alcanzó los 22.705.417 ejemplares, de esta cantidad el 56,4% corresponde a la producción registrada en Asia, 24,9 % en América, 9,8% en Europa, 8,3% en África y 0,6% en Oceanía. Los países que registraron la mayor producción de aves en orden descendente fueron China, Indonesia y Estados Unidos. Ecuador en ese periodo produjo un total de 176.413 ejemplares representando un 0,78% de la producción mundial (FAO, 2018).

La industria avícola es uno de los pilares fundamentales del sector agropecuario ecuatoriano y representa el 14% del PIB agropecuario (CONAVE, 2013). Esta industria, ha reportado crecimiento a tasas de 8 %/año (INEC, 2012), gracias a sus bajos costos (3,26 USD/kg) y preferencias del consumidor a nivel nacional (35 kg/año) (CONAVE, 2013). De la misma forma, en la que la industria avícola ha reportado crecimiento, también lo han hecho los residuos procedentes de cada una de las etapas del sistema productivo de crianza y faenamiento de aves.

El crecimiento de la producción avícola en los últimos años ha hecho que los residuos procedentes de este sector también se incrementen. Las mortalidades que se generan en las granjas no son desechadas correctamente, estas deben ser enterradas o incineradas. De esta forma, se minimiza la aparición de vectores que causan molestias a la comunidad y a los trabajadores de las granjas; además de la presencia de malos olores (Ortez y Zelanda, 2010).

Por otra parte, todas estas empresas han dejado a un lado el tratamiento de los residuos generados ocasionando graves daños al ambiente: contaminación del suelo a partir de lixiviados y la posible contaminación del agua de existir proximidad con niveles freáticos (Ortez y Zelanda, 2010). Los compuestos que están presentes en los residuos, al no ser correctamente tratados, se liberan a la atmósfera, incrementando las emisiones (Sarabia, et al., 2016).

La concientización a cerca de los impactos sociales y ambientales que causa el mal manejo de los residuos procedentes de esta industria han llevado a la investigación y propuestas para la gestión integral de los mismos. El presente trabajo busca evaluar el potencial energético de residuos avícolas, mediante 8 mezclas de estos, con digestión anaerobia, utilizando botellas de vidrio como reactores biológicos, los cuales permitirán determinar la cantidad de biogás resultante de las mezclas realizadas que son susceptibles para un aprovechamiento energético.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial energético de residuos de la industria avícola, mezclando en diferentes proporciones gallinaza (GA), pollinaza (PO) y vísceras (VI) para determinar la mezcla que optimiza la producción de biogás en el proceso de digestión anaerobia.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características físico-químicas de los residuos avícolas a partir de ensayos de laboratorio, que permitan definir el potencial energético de cada uno de los residuos.
- Optimizar la producción de biogás mezclando en diferentes proporciones residuos avícolas para identificar la producción de cada mezcla.
- Comparar la producción de biogás de las distintas mezclas empleando un análisis estadístico descriptivo que permita determinar la mezcla que genera la mayor cantidad de biogás.

1.3. ALCANCE

En el presente trabajo, se evalúa el potencial energético de las mezclas en diferentes proporciones de gallinaza, pollinaza y vísceras a escala laboratorio, con el fin de determinar la mezcla que optimiza la producción de biogás en el proceso de digestión anaerobia. El estudio busca establecer una alternativa para la valorización energética de los residuos que se producen en la industria avícola.

Este trabajo, se ha efectuado a escala laboratorio con el objetivo de controlar las condiciones del proceso de digestión anaerobia a escala real, asimismo para ejecutar cambios en la estructura del modelo de forma repentina, con el fin de disminuir las pérdidas de biogás.

De esta forma los resultados de esta investigación proporcionarán una guía en cuanto al manejo de los residuos para los productores avícolas, lo que permitiría puedan ejecutar procesos de digestión anaerobia en forma eficiente. La re-valorización de estos residuos mediante digestión anaerobia en el sector, permitirá cerrar el ciclo productivo de su actividad a la vez que favorecerá el potencial reciclaje de nutrientes junto con la producción de energía.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica teóricamente debido a que los residuos avícolas poseen valores de humedad, ST, SV, relación C/N y poder calorífico de 6,21 KW-h/m^3 que los hacen susceptibles de ser aprovechados por digestión anaerobia (Flotats et al.,1997). La digestión anaerobia admite residuos con contenidos de humedad superiores al 70% y de diferente procedencia y composición, a diferencia de procesos que requieren de un suministro externo de energía para llevarse a cabo (AINIA, 2012; Buenrostro et al., 2000). Finalmente, como producto de este proceso se libera biogás, con una composición entre el 55 y 65% de metano (CH_4). La combustión de biogás produce CO_2 y H_2O, el CH_4 es un gas 30 veces más contaminante que el CO_2 y este se ha incrementado potencialmente al ser liberado directamente a la atmósfera sin ser aprovechado en la fuente de generación (Carmona et al., 2005; Garzón, 2011).

Metodológicamente, es justificable debido que la GA, PO y VI son residuos que están constituidos principalmente de materia orgánica y nutrientes, de tal forma que al conocer la relación C/N se establece si es susceptible a los procesos anaeróbicos (Estrada, 2005). Los estudios de Marin-Batista et al. (2015), Amado y Prada (2014) y Yoon et al (2014) en donde se analiza la producción de biogás de los residuos de forma individual y en las mezclas de PO y GA muestran que la mezcla de residuos mejora la generación de biogás hasta en un 55%. Otros estudios como los de Flotats et al. (1997) y Yoon et al. (2014) cuantifican el metano mediante metodologías manométricas y Marín-Batista et al. (2015) mediante procesos volumétricos. Walker et al. (2009) sustenta que la metodología volumétrica está sujeta a errores en su cuantificación debido a la transferencia de gases entre la solución barrera y el medio. A pesar de ello y debido a que ha sido ampliamente difundida en otros trabajos, se cree pertinente aplicar dicha metodología.

De forma práctica es justificable ya surge la necesidad de implementar medidas para gestionar estos residuos debido a su creciente generación. Vera et al. (2013) refieren que tratar residuos agrícolas mediante digestión anaerobia para el posterior aprovechamiento de biogás le permite a la industria ahorrar 4,2 % en

energía eléctrica, así como evitar costos en las actividades de transporte y disposición final de los residuos. El biogás obtenido puede ser fácilmente aprovechado en industrias y comunidades pequeñas para satisfacer necesidades básicas, considerándose como una alternativa socialmente responsable por parte de la empresa (Acosta y Obaya, 2005). Además, este tipo de estrategias favorece el reciclaje integral de nutrientes al permitir aprovechar los productos de la digestión anaerobia que son el biogás y el digestato o acondicionador de suelo (AINIA, 2012).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PROCESO PRODUCTIVO

La avicultura, es una de las actividades agropecuarias de mayor importancia en el Ecuador, la cual constituye el 14% del PIB agropecuario (CONAVE, 2013). Esta actividad representa el sustento de la economía de grandes sectores de la población al ser la carne de mayor y más rápido crecimiento, alcanzando el peso del mercado en 6 u 8 semanas (Chiriboga, 2015). Los productos de esta actividad representan la fuente de alimento de la mayoría de los hogares ecuatorianos al proveer la forma más económica de proteína animal por medio de la carne de pollo y huevos de gallina. Estos factores, han influenciado que el consumo per cápita de la carne de ave registre valores de 35 kg/año, lo que ha permitido que este rubro crezca anualmente a tasas del 8% (INEC, 2012).

Perez y Pratt (1997) refieren que en la producción avícola predomina el sistema intensivo, en el cual los pollos son destinados a vivir juntos en galpones de 8 m x 25 m con 1000 pollos cada uno. Este sistema productivo, sigue un itinerario de producción perfectamente programado, de esta manera la producción no se ve afectada por factores ambientales o el hacinamiento que propicia la propagación de enfermedades, canibalismo, picoteo de plumas y ataques por depredadores.

Aillón (2012) indica que en la avicultura se distinguen dos sectores importantes uno dedicado a la producción de carne y otro a la producción de huevos. Ambos sectores engloban distintas actividades desde la incubación y nacimiento de los pollos hasta su faenamiento, en el caso de los pollos de engorde. Esta industria en la actualidad se ha especializado, por lo que las unidades avícolas en su mayoría no se dedican a todo el proceso, sino solo a una o varias fases del mismo.

A continuación, se describen las diferentes etapas del proceso para la producción de carne y huevos de consumo humano.

2.1.1. ETAPA DE INCUBACION

En esta etapa se multiplican las aves de acuerdo con la línea genética que se haya seleccionado como la más adecuada, sea para pollos de engorde o para aves de postura de huevos para el consumo humano. Los huevos fértiles producidos por las aves reproductoras son llevados a las incubadoras a temperaturas de 37,7°C donde permanecen por 21 días, periodo necesario para que las aves nazcan y luego sean transportados a las granjas de engorde (Aillón ,2012). Las cáscaras de huevo y huevos que no eclosionan son procesados y convertidos en harina animal que luego es reincorporada a la alimentación de las aves, por lo tanto, no forman parte de los residuos generados (Pérez y Pratt, 1997).

2.1.2. ETAPA DE LEVANTE

Durante esta etapa se prepara a las pollitas para la etapa posterior que corresponde a la producción de huevos destinados al consumo humano, comprende el periodo de tiempo desde que la pollita tiene un día de nacida hasta las 16 a 18 semanas de edad (Muñoz, 2014). Durante las primeras semanas se las mantiene en galpones de piso en los cuales se les proporciona calefacción durante las 4 primeras semanas. En esta fase se estimula el uso de comederos y bebederos, abasteciéndolas de comida y agua a libre consumo. Además, se las vacuna y se realiza el despique de las pollitas (Hy-Line, 2016). Posteriormente se traslada a las pollitas a galpones de jaula para que se adapten a los nuevos sistemas de comederos (canal) y bebederos (copa o niple), así se facilita la transición a los galpones de producción (Muñoz, 2014).

En esta etapa el ave pasa de pesar 0,06 a 0,07 kg en la semana uno de edad a 1,40 a 1,48 kg en la semana 17 de edad. Durante esta etapa, cada ave consume alimento y agua a razón entre 0,078 a 0,082 kg/día y entre 0,117 a 0,164 L/día,

respectivamente (Hy-Line, 2016). De la misma forma, se generan residuos como son las excretas de las gallinas o gallinaza a razón de 0,007 kg/ave/día (Muñoz, 2014).

2.1.3. ETAPA DE PRODUCCIÓN O POSTURA

Una vez finalizada la etapa del levante las aves de 16 a 18 semanas de edad inician su madurez sexual y son trasladadas a las granjas de postura, donde son albergadas en jaulas con 2 a 3 aves por jaula y dispuestas en hileras (Pérez y Pratt, 1997). Las gallinas ponedoras pueden producir huevos hasta una edad de 72 a 76 semanas, periodo en el que su peso se incrementa de 1.47 – 1.57 kg a 1.92 – 2.04 kg a las 94 semanas de edad (Hy-Line, 2016).

La etapa de producción de huevos dura entre 56 a 58 semanas a lo largo de los cuales la gallina debe consumir alimento y agua a razón de 0,12 kg/día y 0,157 – 0,222 L/día respectivamente (Hy-Line, 2016).

Las deposiciones frescas de las ponedoras se generan a razón de 0,12 kg/ave/día con un 70 a 80% de humedad, este residuo se conoce como gallinaza (Williams, 2013). Otros residuos producto de esta etapa son las cáscaras de huevo con valores que bordean los 0,0008 kg/ave/día y las mortalidades correspondientes al 6% anual (Muñoz, 2014).

2.1.4. ETAPA DE ENGORDE

Los "*broilers"* son las especies o pollos producto de la etapa de incubación que se criarán desde un día de nacidos por 6 a 8 semanas, durante este periodo los pollos crecen hasta alcanzar el peso del mercado entre 2 y 3 kg correspondientes a 45 veces más del peso inicial (Perez y Pratt, 1997).

Chiriboga (2015) refiere que durante esta etapa cada pollo de engorde consumirá en promedio de alimento 0,086 kg/día el cual es convertido en carne de forma

eficiente. El aumento de peso del pollo se atribuye a la asimilación del agua por lo que el consumo de esta se da a razón de 0,2 L/día (Chiriboga, 2015).

El estiércol, que es el residuo más representativo generado en esta etapa se mezcla con el material de la cama, generalmente viruta de madera o cascarilla de arroz para formar la pollinaza. Mullo (2012) refiere valores estimados para las heces secas excretadas por pollos de engorde de 0,02 kg/día. Además de la pollinaza durante esta etapa se generan aproximadamente un 2 a 7 % de mortalidades (Ortez y Zelanda, 2010).

2.1.5. ETAPA DE SACRIFICIO

Los pollos de 6 a 8 semanas de edad que fueron engordados en la etapa anterior llegan al matadero con un peso entre 2 y 3 kg en las jaulas para ser sacrificados en máximo 24 horas a partir de su llegada, ya que este tiempo las aves ya no tienen acceso a alimento ni agua (Aillón ,2012).

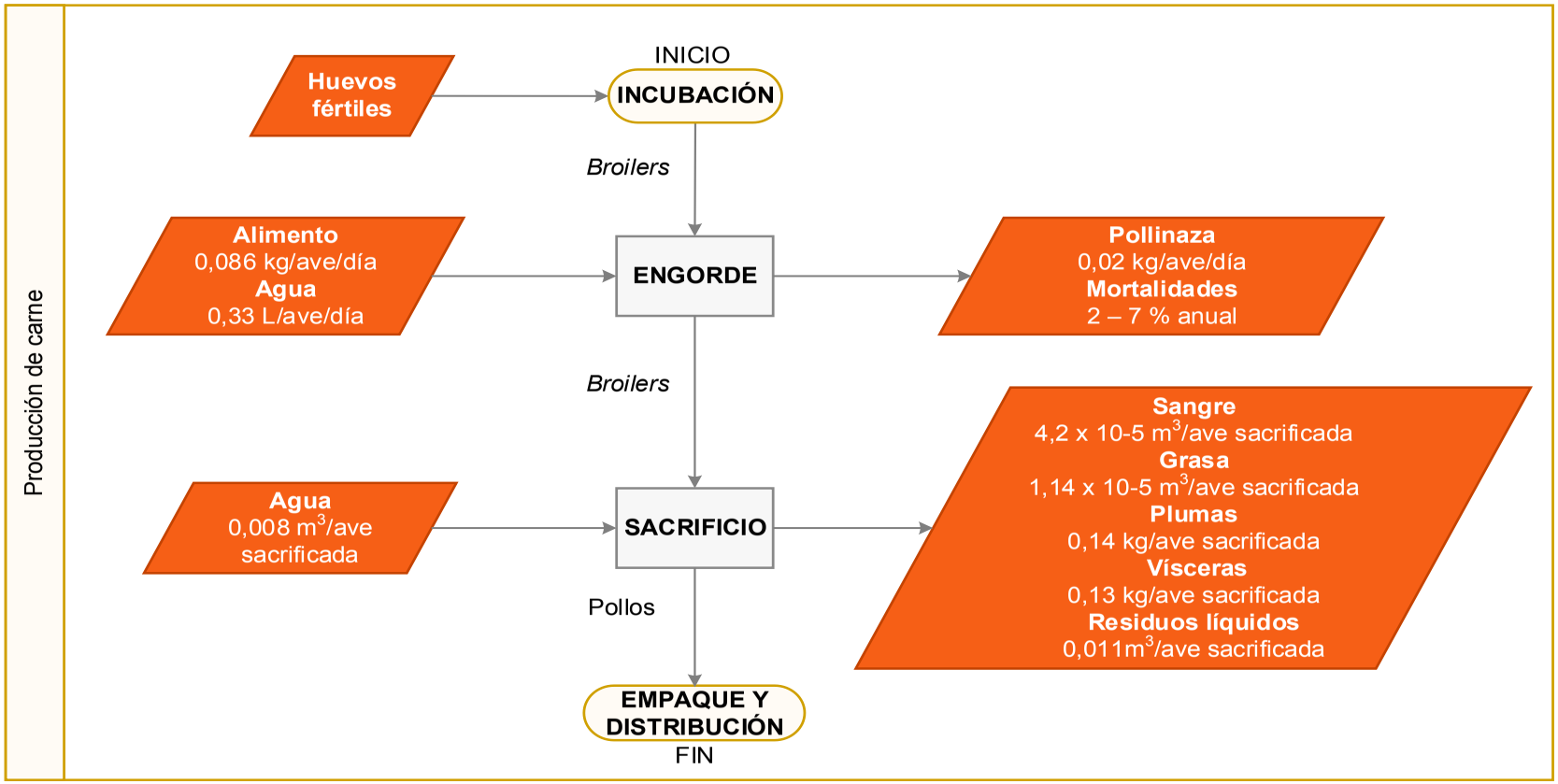
Inicialmente las aves se suspenden por las patas a los ganchos que cuelgan de la cadena de sacrificio, se les aturde por una descarga eléctrica y se degüellan para su desangrado, el proceso de desangrado dura de 1,5 a 3 minutos para asegurarse que las aves no entren vivas al proceso de escaldado (Unión Europea, 2009). Después, se escalda por inmersión en agua hirviendo durante 2,5 a 3,5 minutos y se las despluma, eviscera para seccionar la piel del cuello, abrir la zona abdominal y remover vísceras. Además, se remueven la cabeza y las patas (Union Europea, 2009). Posterior a esto, se lleva a cabo el proceso de "*chilling*" bajarles la temperatura por medio de la inmersión en agua fría de 1° a 4°C con la finalidad de inhibir el crecimiento de microorganismos y formación de olores. Finalmente, los pollos se empacan para ser distribuidos a los puntos de venta (Perez y Pratt, 1997).

La Unión Europea (2009) refiere que en esta fase se hace uso intensivo de agua a valores de 0,008 m^3/ave sacrificada, la que se mezcla con sangre (4,2 x 10-5 m^3/ave sacrificada), grasa (1,14 x 10-5 m^3/ave sacrificada), plumas (0,14 kg/ave

sacrificada) y vísceras como buche e intestinos (0,13 kg/ave sacrificada) (Gómez, 2012). Los residuos líquidos industriales obtenidos totales bordean los 0,011m^3/ave sacrificada (Yoon et al., 2014).

El proceso productivo de la industria avícola para la producción de carne y de huevos para el consumo se detalla a continuación en la **Figura 2.1** y **Figura 2.2.**

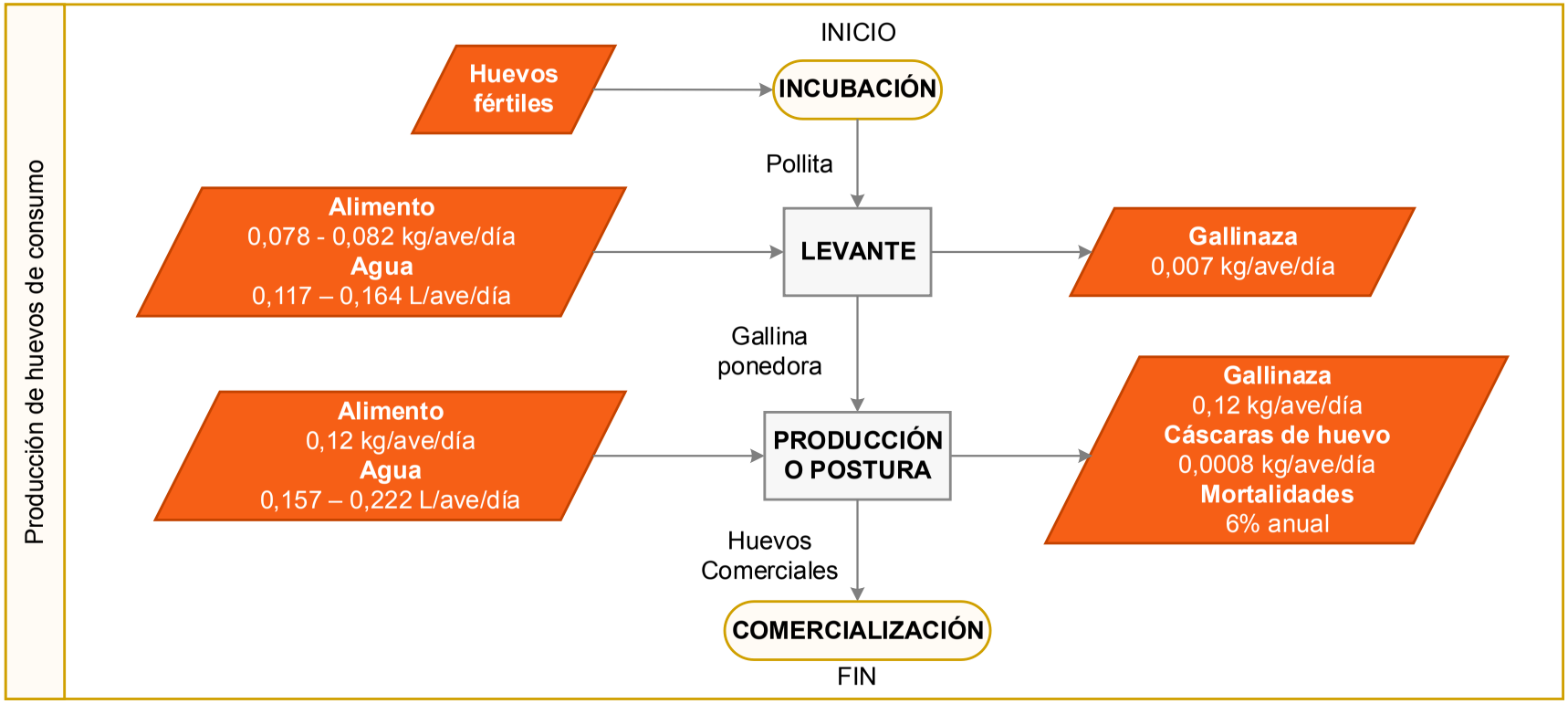
FIGURA 2.1 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: Pérez y Pratt (1997), Chiriboga (2015), Mullo (2012), Ortez y Zelanda (2010), Unión Europea (2009), Gómez (2012), Yoon et al. (2014)

FIGURA 2.2 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE HUEVOS EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: Muñoz (2014), Hy-Lie (2016), Williams (2013)

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS

Los residuos que se generan durante el proceso de crianza y faenamiento de las aves están compuestos principalmente de materia orgánica y nutrientes, lo cual los hace potenciales para ser revalorizados por medio de procesos de digestión anaerobia.

Las características de la GA y PO están influenciadas por factores como la dieta suministrada, edad de las aves, tiempo de acumulación de las excretas y densidad del galpón (García, Ortiz y Lon Wo, 2016). En la **Tabla 2.1** se muestra los valores para algunos parámetros físico-químicos de la GA, PO y VI, residuos que se producen en la industria avícola y objeto de este estudio.

Varnero (2011) indica que los componentes orgánicos en las excretas de aves reportan valores en base seca de 2,84% para los lípidos, 9,56% proteínas, 19,82% lignina y 50,55% celulosa y hemicelulosa. Por otro lado, Yoon et al. (2014) refiere que los residuos intestinales de las aves reportan valores en porcentaje en peso de 28,96% de grasa, 45,94 % de proteínas y 0.72 % de fibra. Este último residuo por su alto contenido de grasas puede presentar problemas en su tratamiento mediante digestión anaerobia ya que los lípidos son compuestos difíciles de biodegradar y dificultan el contacto entre los microorganismos y la materia orgánica en los reactores debido a su baja solubilidad (Montalvo y Guerrero, 2003).

Los valores promedio de pH de la GA, PO y VI, reportados son de 8,65, 8,55 y 4,4, respectivamente. Los datos evidencian que tanto la GA Y PO se acercan al rango optimo reportado (6.8 – 7.4) por Varnero (2011). Por otro lado, las VI presentan características ácidas que podrían afectar a la producción de biogás si en el reactor el pH no se regula al valor requerido (Acosta y Obaya, 2005). .

Valores de humedad superiores al 60% facilitan el equilibrio entre la productividad del biogás generado por los sólidos y la humedad necesaria para la digestión. La GA reporta valores de humedad entre 57,8% a 72,7% convirtiéndose en residuo idóneo para el proceso; mientras que, la PO presenta humedad entre 25,8% a

27,6% valores inferiores al óptimo (González, Rustrián, Houbron, y Zamora, 2008) debido a la mezcla del residuo con los elementos que conforman la cama de las aves. Sin embargo, se han obtenido resultados exitosos al mezclar residuos procedentes de la industria avícola como son las excretas de aves de corral y las plumas, reportando valores alcanzados de generación de metano de 0.34 m^3/ kg SV (Yoon et al., 2014).

AINIA, 2012, sugiere que el contenido de Sólidos Totales debe ser menor al 10%, permitiendo así un equilibrio entre la producción de biogás asociada a los sólidos totales con la humedad que se necesita para la digestión. Los sólidos totales promedio de la GA y VI reportan valores de 20 y 28 %, respectivamente, lo cual representaría inconvenientes a lo largo del proceso ocasionando problemas de agitación, bombeo y sedimentación del sustrato, además de lo expuesto anteriormente.

La relación C/N en los residuos avícolas GA y PO presenta valores promedio de 9,15 y 9,05, respectivamente. Estos residuos poseen una cantidad de materia orgánica (C) a degradar que no es suficiente en relación con la cantidad de nutrientes (N) presentes en los mismos, alejándose así del óptimo reportado en la bibliografía para estos procesos, cuyo valor es 30/1, 30 partes de Carbono para 1 de Nitrógeno (Varnero, 2011). Después de la degradación de la materia orgánica de estos compuestos, el excedente de nutrientes podría inhibir el proceso debido a la presencia de amoníaco.

Residuos considerados como buenos sustratos para tratarse por medio de digestión anaerobia, presentan una cantidad de solidos volátiles respecto a los sólidos totales superior al 60%. GA y VI reportan valores de SV de 75 y 95%, respectivamente, mostrando su potencial como sustrato para este tipo de procesos (AINIA, 2012).

La deficiencia de materia orgánica, así como valores de pH, humedad, contenido de sólidos, entre otras características de la PO, GA y VI impide que sea efectiva la digestión anaerobia de los mismos. Sin embargo, en determinadas ocasiones el proceso se mejora cuando se mezclan diferentes sustratos, así un residuo aporta

lo que a otro le hace falta, de esta forma se aprovecha la complementariedad de su composición para dar lugar a procesos más estables y con un incremento en la producción de biogás conocido como co-digestión anaerobia.

TABLA 2.1 VALORES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DIFERENTES RESIDUOS AVÍCOLAS

Parámetro	Unidad	Gallinaza (GA)		Pollinaza (PO)		Vísceras (VI)	
		Valor medio o rango	Referencia	Valor medio o rango	Referencia	Valor medio o rango	Referencia
pH	-	8,3 – 9	1, 2	7,6 - 9,5	1, 2	4,4	5
H	%	57,8 – 72,7	1, 2	25,8 – 27,6	1, 2	-	-
CE	mS/cm	6,9	2	4,1	2	-	-
P	g/L	996	1	215	1	-	-
NTK	mg/g	3 – 12	2	3,5 - 4.6 (%)	4	64,6	6
N - NH_4^+	mg/g	3 – 7	2	6,1 - 8,3	4	24,4	6
PT	mg/g	5 – 25	2	0,95 – 0,93 (%)	4	342	6
COT	%	37,5	1	40,2	1	-	-
ST	%	10 – 30	3	-	-	280 (mg/g)	6
SV	%	70 – 80 **	3	-	-	267 (mg/g)	6
DQO	mgO_2/g	200 – 500	2	-	-	-	-
DBO_5	mgO_2/g	200 – 400	2	-	-	-	-
C/N	-	6,2 - 12,1	2	7,8 – 10,3	4	-	-

*Los valores expresados se refieren a la muestra húmeda.
**El porcentaje de SV está referido al contenido de ST.

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: (1) Riera et al. (2014), **(2)** Estrada (2005), **(3)** AINIA (2012), **(4)** Delgado et al. (2016), **(5)** Rosenwinkel y Meyer (1999), **(6)** Yoon et al. (2014)

pH: Potencial hidrógeno; **H:** Humedad; **CE:** Conductividad eléctrica; **ρ:** Densidad; **NTK:** Nitrógeno total Kjendhal; **N- NH_4^+:** Nitrógeno amoniacal; **PT:** Fósforo total; **COT:** Carbono orgánico total; **ST:** Sólidos totales; **SV:** Sólidos volátiles; **DQO:** Demanda química de oxígeno; **DBO_5:** Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días; **C/N:** Relación Carbono/Nitrógeno.

Además de los residuos sólidos mencionados anteriormente, el residuo líquido proveniente de la fase de sacrificio es otro residuo de importancia dentro de esta industria. Las concentraciones promedio de contaminantes presentes en la misma son de 1550 mg/L para la DBO_5, 2500 mg/L para la DQO, 150 a 400 mg/L para el NT y 16 a 50 mg/L para el PT (Signorini, 2006).

2.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

El consumo de carne de pollo en los últimos años ha presentado un desarrollo considerable, ocasionado que la demanda de esta proteína se incremente, por tal razón, la producción de aves se ha intensificado (CONAVE, 2013). Con este antecedente, es importante señalar que han sido varios los problemas ambientales observados a consecuencia de esta actividad de los cuales se pueden considerar los siguientes:

2.3.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Las fuentes de agua disponibles en la naturaleza (superficiales y subterráneas) son las más susceptibles a la contaminación provocada por los residuos avícolas que no han sido almacenados, tratados y descargados directamente. La GA, PO y VI, contienen compuestos asociados al nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono (C), que llegan a depositarse en las aguas cambiando las propiedades físicas y químicas de los recursos hídricos (color, olor, turbidez, sabor) (Lon-Wo, 2003).

A su vez, el cambio de estas propiedades da origen a varios problemas ambientales entre los cuales podemos mencionar el incremento en la turbidez del agua, dificultando el paso de la luz solar, lo cual impide el proceso de fotosíntesis y limita la respiración y reproducción de la vida acuática (Romero y Montes, 2009); la eutrofización deteriora la calidad del agua que es usada por las poblaciones para sus actividades diarias tanto domésticas como ganaderas. Existe también propagación de varias enfermedades causadas por agentes biológicos presenten

en este tipo de residuos y que al llegar a los cuerpos de agua infectan a las personas que consumen este líquido contaminado (Inca, 2016).

2.3.2. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Los problemas de contaminación del suelo se relacionan fundamentalmente con la presencia de las excretas provenientes de los corrales o camas donde reposan las aves (GA y PO) y de la aplicación en exceso de esta materia sin estabilización o tratamiento previo como fertilizante en los suelos. Las excretas colocadas en el suelo como fertilizante pueden ocasionar el cambio de las propiedades agronómicas del suelo debido a la presencia de materia orgánica contenida en el fertilizante, además, limita la capacidad de absorción del agua y el intercambio de gases con la atmósfera, debido al taponamiento de los poros del suelo, ocasionando la infertilidad (Lon-Wo, 2003).

La tardía descomposición de los residuos avícolas genera malos olores, estos están asociados al CH_4 contenido en la GA, PO y VI (Ortez y Zelanda, 2010). Los metales que contienen las excretas procedentes de la alimentación o medicación de las aves son micro-contaminantes (arsénico, cobre, cobalto, manganeso, selenio y zinc), y que al ser utilizados como acondicionador de suelos puede provocar bioacumulación afectando a la microbiota del suelo y posteriormente a los productos que serán consumidos por el ser humano (Inca, 2016), además de toxicidad, y lixiviación a las aguas subterráneas (Sarabia, et al., 2016).

2.3.3. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Por su parte los residuos sólidos (excretas, vísceras, plumas, restos de huevos, mortalidades de aves, etc.) y líquidos (sangre) provenientes de la industria avícola contienen compuestos con contenido de azufre, nitrógeno, carbono, material particulado (H_2S, NH_3, COV's, PM). Durante el almacenamiento o tratamiento incompleto pueden liberarse gracias a sus propiedades volátiles o de presión de

vapor dadas por condiciones ambientales favorables (temperatura, aireación, condiciones del suelo, etc.).

La falta de control de las emisiones permite que los compuestos mencionados produzcan molestias en la población debido a los olores desagradables que causa su descomposición, además de convertirse en precursores de algunos trastornos respiratorios en humanos y animales. En un nivel superior estas emisiones contribuyen con la destrucción de la capa de ozono especialmente por la presencia de N_2O producido en la degradación microbiana de los residuos avícolas (Méndez et al., 2009). De igual forma benefician la formación de compuestos ácidos en la atmósfera causando la lluvia ácida y por ende la acidificación de los suelos (Sarabia et al., 2016).

2.3.4. EFECTO DE LA BIOTA

Los problemas antes descritos están estrechamente ligados a la biota, de tal forma que la fauna acuática se ve afectada producto de la eutrofización al poseer menor cantidad de oxígeno disuelto en el perfil del cuerpo de agua, el problema más común a observarse es la anoxia en varias especies acuáticas. De la misma forma, las plantas y la fauna terrestre sufren afectaciones severas al recibir un exceso de nutrientes proporcionado por la GA y PO (Camargo y Alonso, 2007).

Por último, tanto los animales como los seres humanos sufren consecuencias a su salud debido a la ingesta de productos con los contaminantes que liberan los residuos avícolas de tal forma que al incrementar la cantidad de nitrógeno y fósforo en el cuerpo afectando significativamente al sistema nervioso y circulatorio (Camargo y Alonso 2007). La acumulación de los residuos avícolas y la falta de asepsia en las granjas, ocasiona problemas a la comunidad, estos pueden deberse a la aparición de vectores cerca de las comunidades (**Tabla 2.2**) y la formación de malos olores debido a la descomposición de la materia orgánica presente en los desechos (Ortez y Zelanda, 2010).

TABLA 2.2 PROBLEMAS AMBIENTALES OCASIONADOS POR LOS RESIDUOS AVÍCOLAS

Agua	Suelo	Aire	Biota
Lixiviación de macronutrientes .	Pérdida de las propiedades agronómicas.	Liberación de compuestos que causan malos olores.	Enfermedades en el sistema nervioso y circulatorio en seres humanos.
Eutrofización en cuerpos de agua.	Contaminación por los metales de las excretas.	Lluvia ácida y el Efecto Invernadero.	Disminución de la fauna acuática debido a la eutrofización.

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: Bautista, J. y Burgos, C. (s.f.); Méndez et al., (2009); Inca (2016); Ortez y Zelanda (2010); Camargo y Alonso (2007); Sarabia et al. (2016); Lon-Wo (2003).

2.4. ALTERNATIVAS DE REVALORIZACIÓN

Los problemas ambientales generados por la mala disposición de los residuos avícolas han hecho que se busquen alternativas que permitan explotar el potencial de estos. La revalorización, es un mecanismo que permite disminuir el volumen de los residuos, así como aprovechar las características de los mismos, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, esto con el objetivo de reducir los impactos ambientales, desarrollar productos con valor agregado o para su explotación energética (Saval, 2012).

Las tecnologías para el tratamiento de valorización aplicable a residuos sólidos pueden ser: térmicos y biológicos (**Tabla 2.3**).

TABLA 2.3 ALTERNATIVAS DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS

TIPO DE TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	SUBPRODUCTOS
INCINERACIÓN	Conocida como "Solución final".Genera gases que calientan tubos de agua mediante transferencia de calor, convirtiendo el líquido en vapor de agua, el mismo que puede usarse para producir energía (Yepes et al., 2008).	Cenizas, dioxinas, furanos y CO_2 .
GASIFICACIÓN	Proceso térmico de combustión parcial de materia orgánica bajo condiciones sub estequiométricas, que forma un gas combustible. Este proceso se automantiene térmicamente (Ortez y Zelanda, 2010).	Cenizas y gas combustible (CO, CO_2, CH_4, H_2 y HC).
PIRÓLISIS	Descomposición de la materia orgánica producida por el calentamiento de los mismos, que degrada las sustancias carbonosas. Ocurre entre 400 y 800 °C, en total ausencia de oxígeno y presión controlada (Yepes et al., 2008).	CO, H_2, CH_4, CO_2, vapor de agua. Residuo pirolizado (mezcla de gas, líquido y sólido).
COMPOSTAJE AEROBIO	Proceso de descomposición biológica de materia orgánica bajo condiciones controladas de temperatura (entre 50 y 70 °C) y humedad, que origina que los patógenos presentes en el residuo sean eliminados (Yepes et al., 2008).	Compost
DIGESTIÓN ANAEROBIA	Proceso biológico donde bacterias específicas degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Está compuesto por cuatro etapas, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Caicedo, 2006).	Biogás (CO_2 y CH_4), biol.

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Los tratamientos térmicos poseen 85% de eficiencia aproximadamente en recuperación de energía (Leonardi, 2013), únicamente si contienen porcentajes superiores al 15% en contenido de SV (AINIA, 2012). Los residuos (cenizas) obtenidos de este proceso no pueden ser aprovechados, debido a la presencia de compuestos como los NOx, CO y SOx generados por la combustión incompleta de los residuos. Los costos de implementación, operación y mantenimiento de los tratamientos térmicos son 9,5 veces superiores en comparación con los de los tratamientos biológicos (Leonardi, 2013).

Los tratamientos microbiológicos alcanzan eficiencias entre 26 a 32% en aprovechamiento energético (Leonardi, 2013), sin necesidad de requerir acondicionamiento previo (Flotats y Solé, 2008).

Los residuos avícolas están considerados dentro de la biomasa, de tal forma que estos generan beneficios no solo energéticos sino también ambientales, al permitir reducir la contaminación del suelo, aire, agua y biota. Según Posso (2002) los digestores artesanales pueden producir un volumen de biogás igual al volumen del reactor elaborado (50 m^3), energía que puede suplir las necesidades básicas de una familia de tamaño medio. De la misma forma, un relleno sanitario con una cantidad de desechos sólidos de 5.6 millones de ton. puede alimentar una planta de biogás de 5 MW durante 10 años. Las granjas, depuradoras y plantas papeleras con esta alternativa pueden llegar a ser autosuficientes en cuanto a la energía que necesitan para sus actividades.

La **Tabla 2.4** muestra las características energéticas de la gallinaza y pollinaza, bajo los criterios de distintos autores.

TABLA 2.4 CAPACIDAD CALORÍFICA DE LA GALLINAZA Y POLLINAZA (GJ/KG)

Residuo	Valores	
Gallinaza	8,94x10-3 [1]	1,35x10-2 [2]
Pollinaza	1,62x10-2 [3]	1,39x10-3 [4]

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: **(1)** Fernández, 2015; **(2)** Murillo, 1999; **(3)** Ortez y Zelanda, 2010; **(4)** Reardon, 2001.

Los valores mostrados anteriormente hacen que los residuos avícolas sean potencialmente utilizados para su revalorización energética. Para este fin, se pueden llevar a cabo alternativas de tratamiento térmico y microbiológicos (Núñez, 2012).

2.4.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La Digestión Anaerobia es un proceso en el que microorganismos en ausencia de oxigeno u otros agentes oxidantes fuertes degradan la materia orgánica, con el fin de obtener un producto gaseoso conocido como “biogás”. Mayoritariamente los productos resultantes de este proceso son el Dióxido de Carbono (CO_2) en un 30 a 50% (Lorenzo y Obaya, 2005) y Metano (CH_4) en un 50 a 70% (Caicedo, 2006) y en menor proporción se puede encontrar N_2, NH_3, H_2 y H_2S (Bermúdez, et al., 1988).

Para que se produzca el proceso de Digestión Anaerobia se requiere de un grupo de bacterias conviviendo de forma simbiótica como las: hidrolíticas-acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas, las mismas que permiten desdoblar las macromoléculas (carbohidratos, lípidos y proteínas) a compuestos más simples como el hidrogeno y acetato (Limaico, 2018).

El proceso de Digestión Anaerobia se lleva a cabo de forma satisfactoria cuando existen condiciones específicas las mismas que se describen en la **Tabla 2.5.**

TABLA 2.5 VALORES QUE CONDICIONAN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

No.	Parámetro	Valor	Unidad
1	[1]Temperatura	35	°C
2	[1]pH	6.6 – 7.6	-
3	[1]Contenido en sólidos	<10	%
4	[2]Relación C/N	30/1	-
5	[2]Relación C/P	150/1	-
6	[3]Alcalinidad Total	2500	mg $CaCO_3$/L
7	[4]Relación AGV/AT	0,2 a 0,4	-
8	[5]SV/ST	>60	%

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: **(1)** Lorenzo y Obaya 2005; **(2)** Flotats, et al., 1997; **(3)** Córdova y Miño 2015; **(4)** Pérez y Torres, 2018; **(5)** AINIA, 2012.

El proceso está compuesto por cuatro etapas diferenciadas, según el proceso de degradación, las mismas que se detallan a continuación:

2.4.1.1. Hidrólisis

En la hidrólisis, los polímeros de los compuestos presentes en la materia orgánica, son solubilizados en sus monómeros gracias a la presencia de enzimas excretadas por las bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular (exoenzimas). Así, en la degradación de la celulosa debida a las bacterias hidrolíticas se obtienen varias

moléculas de glucosa soluble (**Ecuación 1**). Además, para carbohidratos muy degradables esta etapa se da en un pH entre 5,5 a 6,5 (Montalvo y Guerrero, 2003).

$$(C_6H_{12}O_6)_n + H_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 \qquad \textbf{(Ecuación 1)}$$

2.4.1.2. Acidogénesis

Durante la acidogénesis los productos resultantes de la hidrólisis (monómeros) son convertidos en ácidos orgánicos (acético, propiónico y butírico) que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y acetogénicas (Montalvo Herrero, 2003; Campos, 2001). La degradación de la glucosa en los sistemas anaerobios genera como sus principales productos ácidos grasos volátiles, H_2 y CO_2. Por su parte, los aminoácidos se desdoblan en moléculas de ácidos grasos de cadena corta, succínico, aminovalérico y H_2 (**Figura 2.3**). En esta etapa los principales inhibidores son los ácidos grasos de cadena larga (AGCL), debido a que al desdoblarse se librera H_2, el mismo que incrementa su pH y no permite la transformación de sus productos finales (Flotats, Campos y Bonmatí, 1997; Campos, 2001).

2.4.1.3. Acetogénesis

Conocida también como acidogénesis intermediaria, en donde los productos de la acidogénesis se transforman a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono (**Figura 2.3**). Varios productos de esta etapa (H_2 y acetato) pueden ser utilizados por los organismos metanogénicos para la obtención de metano de forma directa, sin embargo, otros ácidos (valeriato, butirato, propionato, etc.) necesitan ser transformados por bacterias acetogénicas para poder ser transformados a metano (Montalvo Herrero, 2003; Campos, 2001). El proceso de acetogénesis requiere de valores energéticos difíciles, por tal razón es necesario que bacterias metanogénicas y otros organismos consumidores de hidrógeno intervengan en el proceso metabólico (Campos, 2001).

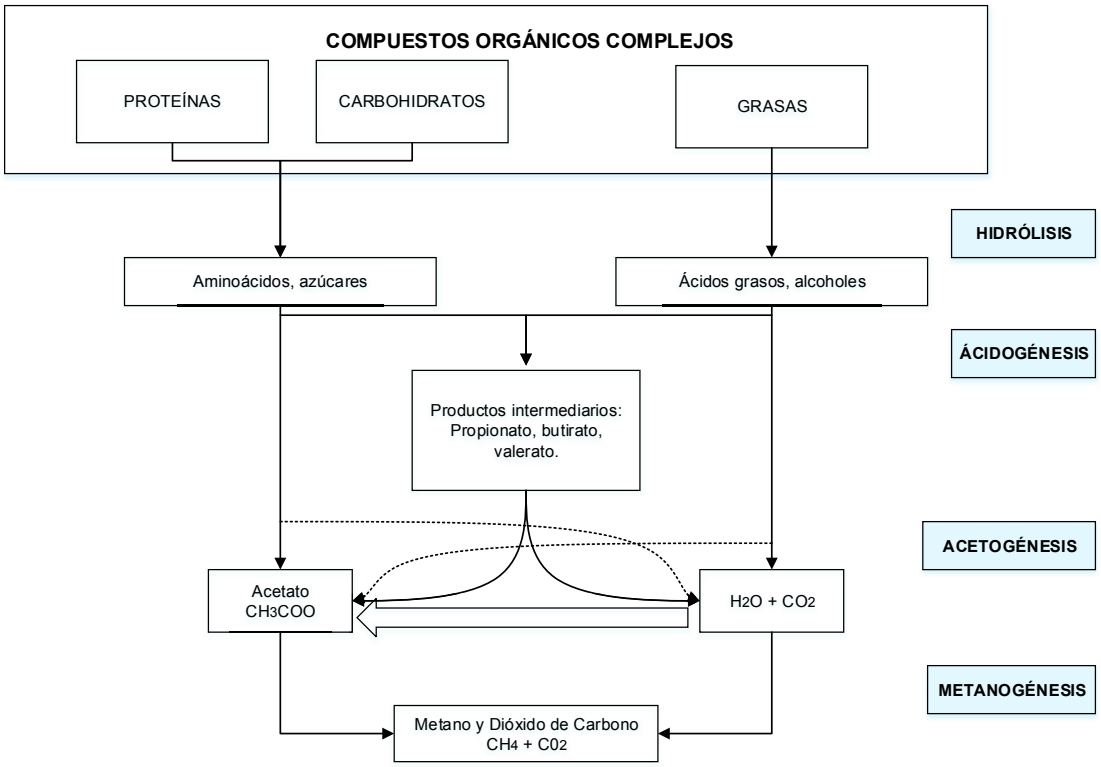
2.4.1.4. Metanogénesis

En la metanogénesis se genera CH_4 como principal producto de esta etapa, todo esto a partir de los productos de la acetogénesis (ácido acético, H_2 y CO_2), además pueden formarse moléculas de ácido fórmico y metanol. Según el sustrato principal, es posible establecer dos grupos de microorganismos formadores de metano, los "hidrogenotróficos", que consumen hidrógeno y acido fórmico (**Ecuación 2**) y los "acetoclásticos" que receptan los grupos metilos del acetato, metanol y aminas (**Ecuación 3**). El acetato es el principal formador de metano, sabiendo que alrededor del 70% del metano generado en el proceso de digestión anaerobia proviene del acetato (Campos, 2001).

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad \textbf{(Ecuación 2)}$$

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \qquad \textbf{(Ecuación 3)}$$

FIGURA 2.3 ESQUEMA DE REACCIONES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: Ortega (2006).

Los procesos de digestión anaerobia han sido desarrollados por varios autores, obteniendo resultados satisfactorios en sus investigaciones, así como empleando técnicas de co-digestión para incrementar la producción de biogás. Prada (2014) encontró que la producción de biogás mejoró en un 55% al mezclar PO Y GA en proporción 90:10 en comparación con lo que se produjo en la muestra de PO. Montalvo y Guerrero (2003) reportan efectos sinérgicos en el rendimiento del gas cuando se mezclan residuos porcinos y avícolas en proporción 1:1 se incrementa el rendimiento en un 6 % y al mezclar residuos porcinos, avícolas y vacunos en proporción 2:1:1 el rendimiento incrementa en un 10%.

2.4.1.5. Subproducto generado por la digestión anaerobia

Este proceso además genera un subproducto denominado “biol”, considerado como un abono líquido que presenta características agrícolas que benefician el desarrollo de las plantas, debido a la presencia de nutrientes que son fácilmente asimilables para los cultivos, brindándoles resistencia y fertilidad. Este abono presenta un alto contenido de materia orgánica, baja carga de patógenos y buena actividad biológica ayudando a la planta al desarrollo de fermentos nitrosos y nítricos, convirtiéndose en un excelente complemento a suelos improductivos o desgastados (Inca, 2016). Una vez culminado el proceso de digestión anaerobia el biol, ya no posee aromas fuertes, impidiendo la aparición de vectores como ratas y moscas.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. TRABAJO DE CAMPO

3.1.1. PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS

Los residuos con los cuales se contó para el desarrollo de este proyecto fueron los proporcionados por el Grupo Casa Grande. Esta empresa se dedica al comercio de huevos, pollos en pie, faenados y pollos cocidos. Cuenta también con una línea dedicada a la crianza de pollos y elaboración de abono y balanceado. Para ello dispone de 12 granjas distribuidas en lotes de Gallinas de Levante, Ponedoras y de Engorde.

Los residuos con los cuales se trabajó fueron los extraídos de la faenadora de aves Pura Pechuga y de las granjas: Patate y La Moravia.

3.1.1.1. Granja Patate "Yema Dorada"

La Granja Patate "Yema Dorada" se encuentra ubicada a 10 Km del cantón Patate, provincia de Tungurahua, con coordenadas 777329E, 9852651N.

La Granja de Gallinas Ponedoras de Patate cuenta con 151773 aves distribuidas en 3 lotes y repartidos en 10 galpones. Estas permanecen en la granja hasta alcanzar las 90 semanas de edad (64 semanas dentro de la granja), donde posterior a ello son comercializadas. La mortalidad registrada en esta granja es de 6.42 % (9744 aves muertas). La gallinaza generada en esta granja es: 0.25 Kg gallinaza/ día*ave.

FIGURA 3.1 UBICACIÓN GRANJA PATATE

FUENTE: Google Maps (2018)

3.1.1.2. Granja La Moravia Oriente Pura Pechuga

Los animales que se sacrifican para comercializarse en la Faenadora “Pura Pechuga” son los de las Granjas de engorde. La Granja de Engorde “La Moravia” se ubica en el cantón Mera, provincia de Pastaza, sus coordenadas son: X 17824105; Y 9836801. Se ubica en una zona cálida en las puertas del Oriente ecuatoriano.

Las aves de estas granjas permanecen por un lapso de 42 días en sus galpones, posteriormente una fracción de estas llegan hacia la faenadora mientras que la mayoría se comercializan como pollos en pie.

FIGURA 3.2 UBICACIÓN GRANJA LA MORAVIA

FUENTE: Google Maps (2018)

3.1.1.3. Faenadora "Pura Pechuga"

La Faenadora de pollos "Pura Pechuga" se encuentra en el cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua, con coordenadas X 786759; Y 9845631.

Las aves que llegan hacia la faenadora son aquellos que se encuentran en las Granjas de engorde. A la Faenadora ingresan 1500 aves/ día, que cumplen con el peso aproximado de 2.54 Kg las etapas que atraviesan las aves en este lugar antes de ser comercializadas son: colgado, shock eléctrico, desangrado, escaldado, desplumado, corte de patas y cabeza, pre-chiller y chiller. De este proceso se obtienen como desechos 0.18 Kg plumas/ave, 0.33 Kg vísceras/ave, 0.18 Kg sangre/ave y 0.03 Kg grasa/ave. El agua utilizada para la limpieza de las aves es de 3 L/ave, de la misma forma se estima que la cantidad de líquido generado en forma de descargas es 4000 L/día.

FIGURA 3.3 UBICACIÓN FAENADORA PURA PECHUGA

FUENTE: Google Maps (2018)

3.1.2. MUESTREO DE LOS RESIDUOS

Una vez que se determinó las unidades de producción de las cuales se va a tomar las muestras para el desarrollo de esta investigación se procedió a diseñar la campaña de muestreo de los residuos.

De forma general para los tres residuos objeto de estudio (GA, PO y VI) se realizaron dos muestreos, el primero para la etapa de caracterización físico-química y el segundo para la elaboración del modelo experimental. Se muestreo por primera ocasión el 8 de enero de 2018 y por segunda vez el 12 de marzo de 2018.

3.1.2.1. Muestreo de Gallinaza

Las muestras de GA se obtuvieron de los galpones de la “Granja Patate”, granja de postura en la que el residuo es evacuado de cada galpón por medio de un sistema de bandas trasportadoras y acumulados en un solo lugar para ser trasportados hacia la fábrica de compostaje (lugar destinado para la recepción de los residuos generados en todas las unidades de la industria avícola “Grupo Casa Grande”).

En las dos ocasiones se obtuvo una muestra de 10 kg de residuo luego de realizar el cuarteo de una muestra de 50 kg aproximadamente de residuo, siguiendo la metodología propuesta en la NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985 (1992). La muestra tomada se almaceno en una bolsa de polietileno correctamente identificada para luego ser transportada hasta las instalaciones en las que se realizaron los análisis respectivos (**Figura 3.4**), las muestras se mantuvieron a temperatura de 4ºC durante el transporte y proceso de análisis de laboratorio tal como lo establece Marín-Batista et al. (2015). La muestra de GA objeto del muestreo, era un residuo que tenía 30 días de estar almacenado en los respectivos galpones de la granja.

FIGURA 3.4 MUESTREO DE GALLINAZA

Cuarteo de la muestra de GA

Tomada por: Barrera y Manobanda (2018)

3.1.2.2. Muestreo de Pollinaza

La PO se obtuvo de la granja de engorde “La Moravia” aquí el residuo se va acumulando en los galpones a medida que las aves hacen las deposiciones frescas y se mezcla con el material de la cama, generalmente este permanece almacenado en los galpones para luego ser comercializadas como abono orgánico a diferentes agricultores de la región oriente del país.

El residuo de PO objeto del muestreo, fue facilitado por la misma industria en bolsas de polietileno aproximadamente 50 kg, el mismo fue evacuado de los galpones de la granja de engorde cuando había permanecido 42 días en los mismos. Posterior a la recepción de las muestras en las instalaciones de la compostera, se realizó el método del cuarteo para obtener una muestra de 10 kg en cada muestreo de acuerdo a lo establecido en la NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985 (1992), se etiquetaron y transportaron para su posterior análisis, permaneciendo a 4ºC durante el transporte y el periodo que duro el análisis de laboratorio (Marín-Batista et al., 2015).

3.1.2.3. Muestreo de Vísceras

Las VI fueron obtenidas de la faenadora “Pura Pechuga” en la misma se faenan los pollos diariamente dependiendo de la demanda de producto, por lo que los residuos intestinales están disponibles todos los días desde las 11H00. En las dos ocasiones que se tomaron las muestras de residuo, las VI fueron tomadas del primer lote de producción de la faenadora y luego se guardaron en bolsas herméticas que contenían alrededor de 5 kg de residuo. Al tratarse de un residuo que es parte del organismo del ave se lo mantuvo en refrigeración antes y después de su transporte para la ejecución de los análisis (Marín-Batista et al., 2015).

3.2. MODELO EXPERIMENTAL

3.2.1. DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL

3.2.1.1. Ensayo de actividad metanogénica específica en el inóculo

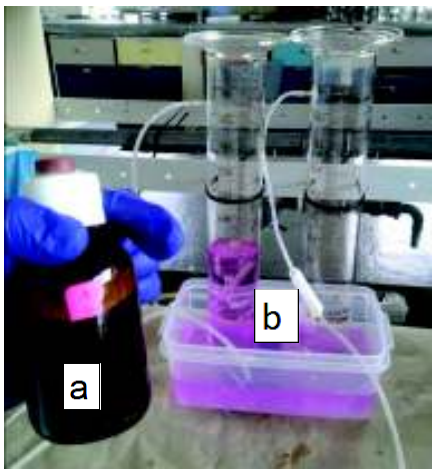
En el presente estudio se empleó como inóculo el lodo anaeróbico de un digestor tubular de residuos líquidos procedentes del camal metropolitano de la ciudad de Quito. Previo a su uso en el ensayo, se estableció la actividad metanogénica

específica (AME) de dicho lodo, cuya metodología es descrita por Astals et al. (2015).

Para el ensayo se utilizaron botellas ámbar de 120 ml de capacidad con 100 ml de volumen útil a las cuales se les sello herméticamente después de colocar la muestra. Se realizaron 6 ensayos (3 blancos y 3 controles), los blancos poseían únicamente el lodo anaerobio y los controles una solución del lodo y acetato de sodio en concentración de 2 $g_{acetato}$ / L (Astals et al., 2015) (**Figura 3.5**a).

Las botellas se incubaron a 37ºC y la cantidad de metano producida por el sustrato se midió cada doce horas por un periodo de cuatro días haciendo pasar el gas generado en una solución barrera de NaOH 0.01N, empleando el método volumétrico (**Figura 3.5**b).

FIGURA 3.5 ENSAYO AME EN EL INÓCULO



a) Reactor empleado para el ensayo; b) Solución de NaOH empleada para la medición de producción de metano

Tomada por: Barrera y Manobanda (2018)

3.2.1.2. Ensayo del potencial de biometanización

En el presente trabajo se evaluó el potencial energético de 8 diferentes ensayos compuestos por GA, PO y VI en diferentes proporciones para de esta forma encontrar la mezcla que optimiza la producción de biogás, las mezclas estudiadas se detallan en la **Tabla 3.1**.

La primera muestra evaluada (M01) corresponde a la situación real en la que se están generando los residuos (GA, PO y VI) en la industria avícola de la que se tomaron las muestras. Para las mezclas restantes se plantearon las proporciones de tal manera que se pueda evaluar a cada residuo por si solo (M02, M03 y M04) y la mezcla de los tres (M05, M06, M07 y M08).

TABLA 3.1 MEZCLAS DE RESIDUOS OBJETO DE ESTUDIO

Id.	Mezcla de residuos (GA:PO:VI) (%v/v)
M01	50:49,4:0,6
M02	100:0:0
M03	0:100:0
M04	0:0:100
M05	50:25:25
M06	25:50:25
M07	25:25:50
M08	33,3:33,3:33,3

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

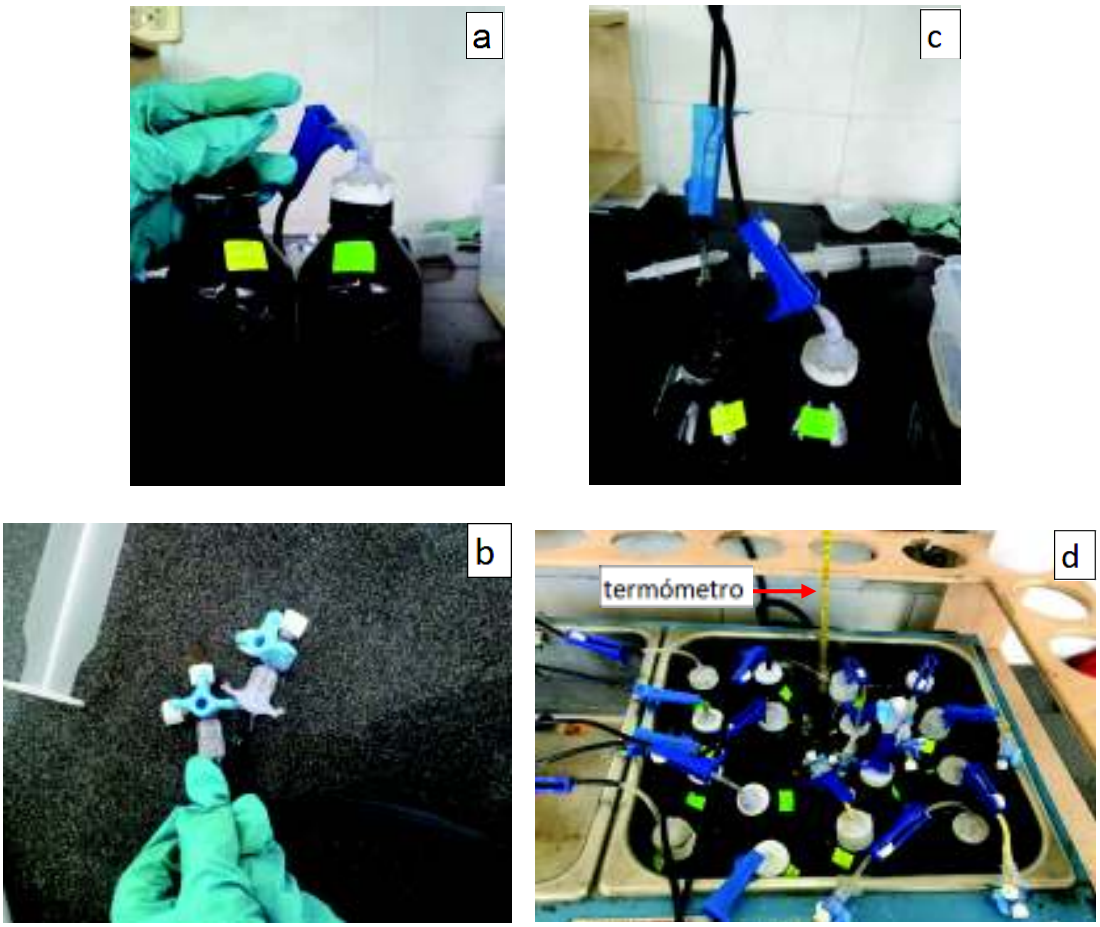
Para los ensayos del potencial de biometanización se utilizaron botellas ámbar de 240 ml de capacidad con un volumen útil de 100ml, dejando espacio suficiente para la producción de biogás, cada una de las mezclas se evaluó por duplicado permitiendo el análisis estadístico de los datos y garantizando la reproducibilidad del ensayo (Angelidaki et al, 2009) (**Figura 3.7**a).

La relación sustrato/inóculo fue de 1/3 de esta forma en los ensayos se tiene la cantidad de inoculo suficiente para evitar la acumulación de AGVs y condiciones ácidas (Angelidaki et al, 2009).

Los reactores discontinuos que contenían el sustrato e inóulo fueron cerrados herméticamente, conectados a una válvula de 3 vías por medio de una manguera (**Figura 3.7**b) en la cual también se colocó una llave de paso para controlar de mejor manera posibles fugas (**Figura 3.7**c).

Todos los ensayos fueron incubados a temperatura mesofílica de 38°C en un baño maría en el que se colocó un termómetro para brindar al ensayo un entorno de temperatura controlada con variaciones máximas de ± 2°C tal como lo establece Holliguer et al. (2016) (**Figura 3.7**d), a los reactores no se les colocó un sistema de agitación.

FIGURA 3.6 MODELO EXPERIMENTAL



a) Ensayo de la M01 por duplicado; b) Llave de 3 vías colocada al final de la manguera del reactor; c) Llave de paso colocada al principio de la manguera del reactor; d) Reactores colocados en el baño maría.

Tomada por: Barrera y Manobanda (2018)

3.3. ANÁLISIS ANALÍTICO

3.3.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS RESIDUOS

Para el desarrollo del presente estudio se estudiaron 8 ensayos en los que se mezcló GA, PO y VI. Para cada ensayo se realizó la caracterización fisicoquímica de acuerdo a los parámetros descritos en la **Tabla 3.2** antes de armar el diseño experimental y una vez concluido el desarrollo del mismo. Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y en el Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA- ESPOCH.

TABLA 3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE RESIDUOS

Parámetro	Método	Técnica	Parámetro	Método	Técnica
Sólidos totales	APHA 2540-B	Gravimétrico	Nitrógeno total Kjeldhal	APHA 4500-C	Electrodo de amoniaco
Sólidos volátiles	APHA 2540-E	Gravimétrico	pH	Método 4.1*	Potenciometría
Alcalinidad total (pH 4.3)	APHA 2320-B	Volumetría	Humedad	Método 2.1*	Gravimétrico
Alcalinidad parcial (pH 5.7)	APHA 2320-B	Volumetría			

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

FUENTE: APHA-AWWA-WPCF (2005), * Zagal y Sadzawka (2007)

3.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para la medición del biogás se utilizó una solución barrera de Cloruro de Sodio (NaCl) saturada al 95% y acidificada a pH 0.5, la misma que permite retener un 99% de metano y el 92% de dióxido de carbono (Walker, et al., 2009).

Antes de realizar la medición del biogás los reactores se agitaron por 1 minuto con el fin de obtener una mezcla homogénea y que el contenido total de biogás sea cuantificado. Posterior a esto, cada reactor fue conectado mediante la válvula triple hacia la manguera que se encontraba en contacto con la solución barrera en una probeta invertida, la cual estuvo colocada dentro de un recipiente de polipropileno (**Figura 3.8**). El biogás se libera al abrir las válvulas, llega hacia la probeta y desplaza el volumen de NaCl, permitiendo determinar la cantidad contenida en el reactor.

FIGURA 3.7 MEDICIÓN DE BIOGÁS

Tomada por: Barrera, Manobanda (2018)

3.4. ANÁLISIS DE DATOS

3.4.1. TRATAMIENTO DE DATOS

Los resultados de las características fisicoquímicas tanto del sustrato inicial como del final se tabularon y se analizaron mediante gráficas, se determinó la media de

cada parámetro al igual que la desviación estándar, para el caso de los valores obtenidos para el efluente, se calcularon porcentajes de eliminación para ST, SV y NTK.

Durante el tiempo de incubación de los reactores se pudo obtener datos sobre la producción de biogás, para la muestra de control y su blanco, estos valores fueron tabulados permitiendo conocer el tiempo de incubación, la temperatura y el volumen desplazado de biogás en mililitros, el mismo que fue normalizado mediante la Ley de los Gases Ideales, tal como lo muestra la **Ecuación 8**:

$$PV = nRT \qquad \textbf{Ecuación 8}$$

Donde:
P = Presión absoluta a condiciones normales (atm)
V = Volumen (L)
n = moles de gas
R = Constante universal de los gases ideales (atm*L/K*mol)
T = Temperatura absoluta a condiciones normales (K)

De la misma forma, se puede acoplar la Ecuación 8 para el gas medido en el laboratorio. El cálculo del volumen normalizado se realizó de la siguiente manera:

$$P_1V_1 = nRT_1$$

Igualando nR en ambas ecuaciones obtenemos la Ecuación 9 con la que se calcula el valor del volumen normalizado, como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = nR \text{ y } \frac{P\,V}{T} = nR$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P\,V}{T}$$

Despejando V y reemplazando los valores de $P1$, V_1, T_1, P, y V se obtiene:

$$V = \frac{T}{P} * \frac{P_1 * \frac{V_1(ml)}{1000}}{T_1}$$ **Ecuación 9**

En el caso del reactor M01 el día 1 registro un desplazamiento de un volumen igual a 2,65 mL, cuyo volumen normalizado se calcula a continuación:

$$V = \frac{273.15\ K}{1\ atm} * \frac{0.72\ atm * \frac{2.65}{1000}\ L}{273.15 + 19\ K}$$

$$\boldsymbol{V = 0.0017\ L}$$

Con los valores obtenidos anteriormente fue posible determinar la producción diaria de biogás (mL/ día), producción especifica diaria de biogás (mL/ g SV día) y la producción especifica acumulada de biogás (mL/ g SV día).

Con los resultados de la producción especifica diaria de biogás se realizó el análisis de varianza (ANOVA), el mismo que compara las medias de cada una de las muestras del experimento para establecer si existe diferencias estadísticas entre las mismas. A partir de ello, es posible establecer si la diferencia existente entre la producción especifica diaria de biogás en las diferentes muestras es significativa, empleando la prueba de Tukey.

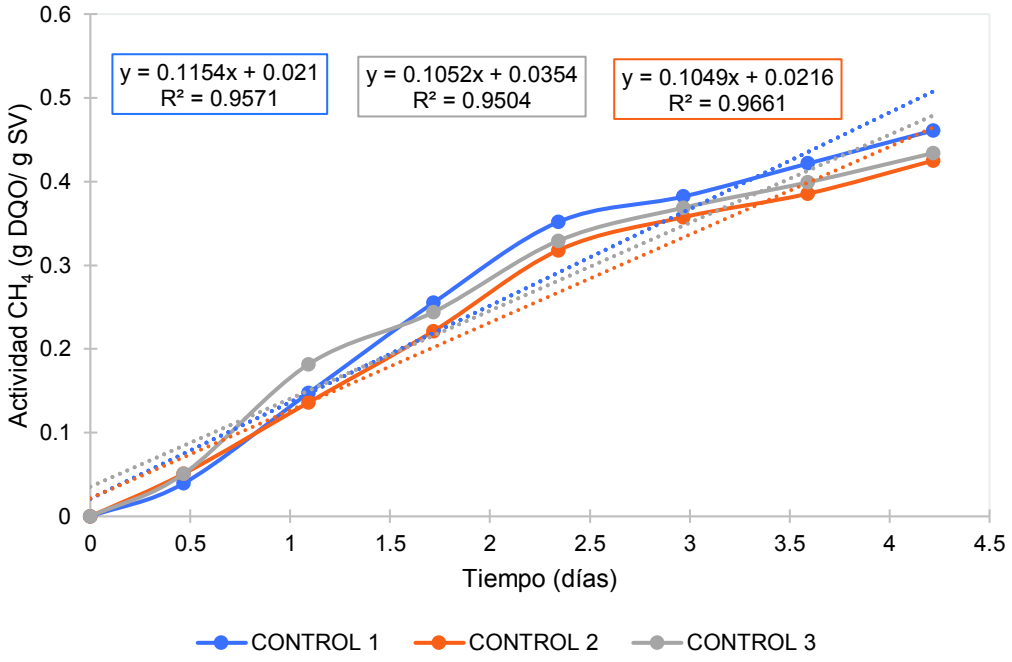
CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ENSAYO DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA DEL INÓCULO

En la **Figura 4.1** se muestra el ensayo de AME para los 3 controles del inóculo efectuado antes de realizar el ensayo de potencial de biometanización.

FIGURA 4.1 PROCUCCIÓN ACUMULADA DE METANO EN EL INÓCULO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

La **Figura 4.1** indica la AME sobre acetato de sodio de cada ensayo efectuado, interpretada como la pendiente de la gráfica Actividad CH_4 vs Tiempo, se reporta una AME promedio del inóculo sobre acetato de sodio de 0,11 g DQO-CH4/g SV-día. Angelidaki et al (2009) refiere que el inóculo a ser empleado en el proceso de degradación debe tener una AME mínima en acetato de 0,1 g DQO-CH4/g SV-día,

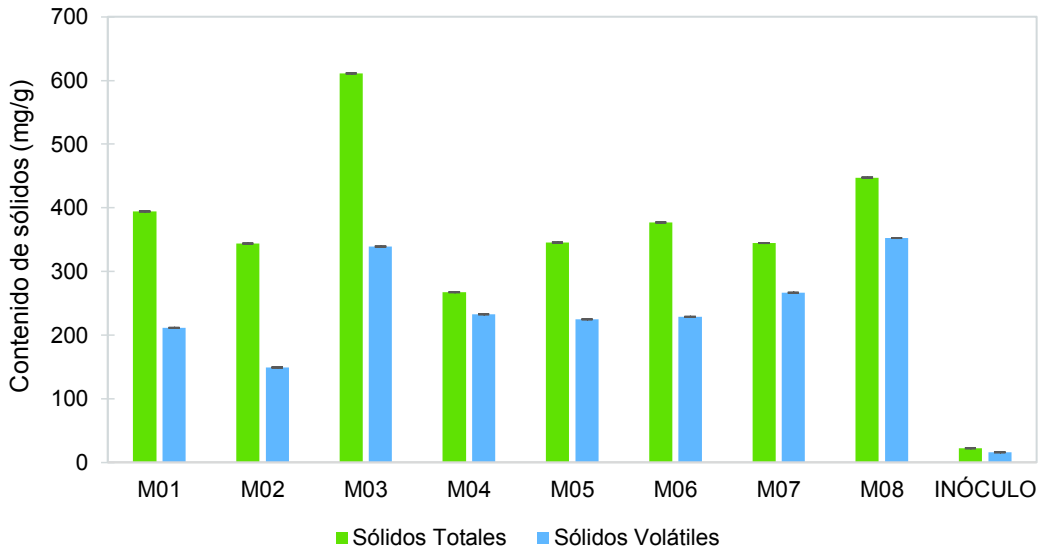
por lo que el resultado obtenido en el ensayo del inóculo para este estudio está en concordancia con la bibliografía.

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS RESIDUOS

4.2.1. SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES

La **Figura 4.2** muestra el contenido de ST y SV presentes en las muestras de los 8 ensayos e inóculo objeto de este estudio.

FIGURA 4.2 SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES DE LAS MUESTRAS ANTES DEL TRATAMIENTO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.2** se puede observar que el contenido de ST varía de 267,2 mg/g a 610,8 mg/g para las muestras M04 y M03, respectivamente. El alto contenido de ST en la muestra M03 se debe principalmente a que se trata de las excretas de los pollos de engorde y el material que se utiliza para la cama (cascarilla de arroz) los cuales están compuestos por polisacáridos principalmente, siendo un residuo de consistencia sólida respecto a la GA y VI.

Por su parte, el contenido de SV en base húmeda varió de 149,4 mg/g a 352,5 mg/g para las muestras M02 y M08, respectivamente, indicando una mayor cantidad de material biodegradable para la mezcla que contiene iguales proporciones de los tres residuos (M08). Además, se puede observar que en la mezcla de residuos (M08) se incrementa la cantidad de materia biodegradable 2,4 veces con respecto al ensayo M02 (GA:PO:VI, 100:0:0).

En promedio, el contenido de ST fue de 391,3 mg/g, con un coeficiente de variación entre las muestras de 26,2%, por otro lado, el promedio de SV en base húmeda fue de 250,6 mg/g con un coeficiente de variación de 26,9%, los porcentajes de variabilidad de ambos parámetros indicaron que los resultados de poseen poca heterogeneidad entre los mismos.

De la misma forma, los ST del inóculo utilizado fueron de 22,5 ± 0,0017 mg/g y los SV de 15,5 ± 0,001 mg/g en base húmeda, esto debido a que esta muestra es un lodo estabilizado que es producto de la digestión anaerobia de los efluentes líquidos procedentes del camal metropolitano.

Montalvo y Guerrero (2003) refieren que en procesos anaerobios se trabaja con concentraciones de ST entre 4 y 8%, valores superiores podrían afectar al proceso de transferencia de masas (sustrato - célula) por lo que en estos ensayos se presentó el contenido de ST idóneo (3,9%).

Estrada (2005) refiere valores de SV en base húmeda para la GA de 200 a 400 mg/g, estos valores son cercanos a los obtenidos en este estudio para el ensayo M02 de 149,4 mg/g de SV. Por otro lado, Yoon et al., (2014) reportó valores de 280 mg/g para los ST y 267 mg/g para los SV en base húmeda en muestras de VI, los datos antes expuestos son semejantes a los obtenidos en este estudio para el ensayo M04, correspondientes a 267,2 mg/g para los ST y 232,9 mg/g para los SV.

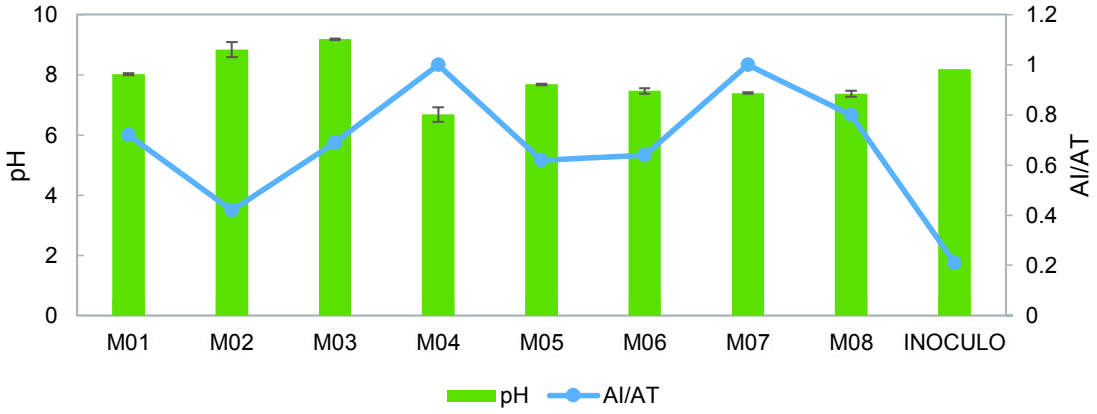
AINIA, 2012, reporta que el proceso de digestión anaerobia se efectúa de manera óptima cuando la relación SV/ST es >60%, asegurando así que se tiene una cantidad de sustrato adecuado para biodegradar. La GA y PO en forma separada no cumplen este requerimiento así como la mezcla que contiene a estos dos

residuos en mayor proporción, M01 (GA:PO:VI, 50,04:49,40:0,56), sin embargo, las vísceras y las mezclas de estos residuos presentan valores de esta relación por encima del 60%, indicando la mayor cantidad de sustrato biodegradable en el ensayo M04 (GA:PO:VI, 0:0:100).

4.2.2. POTENCIAL HIDRÓGENO Y RELACIÓN ALCALINIDAD INTERMEDIA / ALCALINIDAD TOTAL

La **Figura 4.3** muestra el pH obtenido para las muestras e inóculo y la relación de AI/AT de los ensayos los 8 ensayos e inóculo objeto de este estudio. Los resultados de AI y AT se muestran en el **Anexo I.**

FIGURA 4.3 RELACIÓN ALCALINIDAD INTERMEDIA/ ALCALINIDAD TOTAL Y POTENCIAL HIDRÓGENO ANTES DEL TRATAMIENTO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.3** se observa que el pH en los ensayos varía de 6,7 a 9,2 para las muestras M04 y M03, respectivamente, la muestra M04 (100% VI) presenta características ácidas que pueden atribuirse al contenido de ácidos grasos presentes en su composición, por otro lado, la PO de la muestra M03 muestra características alcalinas que se relacionan con el contenido de sales minerales que componen las excretas de estos animales.

El valor promedio de pH para estos ensayos fue 7,8 y los datos presentaron una variabilidad del 10,5%, mostrando la homogeneidad de los mismos. Varnero

(2011) refiere que como rango óptimo para la digestión anaerobia valores de pH de 6,8 a 7,4, sin embargo, Montalvo y Guerrero (2003) reportan que el proceso de fermentación no se inhibe mientras el pH se mantenga entre 6 y 8,3, por lo que los ensayos M02 y M03 podrían presentar dificultades en el proceso de degradación. La mezcla de residuos (M05, M06, M07 y M08) permite que el pH se aproxime al rango óptimo requerido para estos procesos.

Riera et al., (2014) y Estrada (2005) reportan valores de pH de 8,3 a 9 para la GA y 7,6 a 9,5 para la PO, datos que coinciden con los valores obtenidos para las mezclas M02 y M03 de 8,8 y 9,2 respectivamente. De la misma forma, Rosenwinkel y Meyer (1999) refieren valores para las VI de 4,4, que comparados con los resultados obtenidos para las mismas en este ensayo se encuentran en un rango ácido.

La relación AI/AT para los ensayos oscila entre 0,4 para M02 y 1 para las mezclas M04, M07. El promedio para esta relación es de 0,74, con un valor de variabilidad del 26,6% entre los datos.

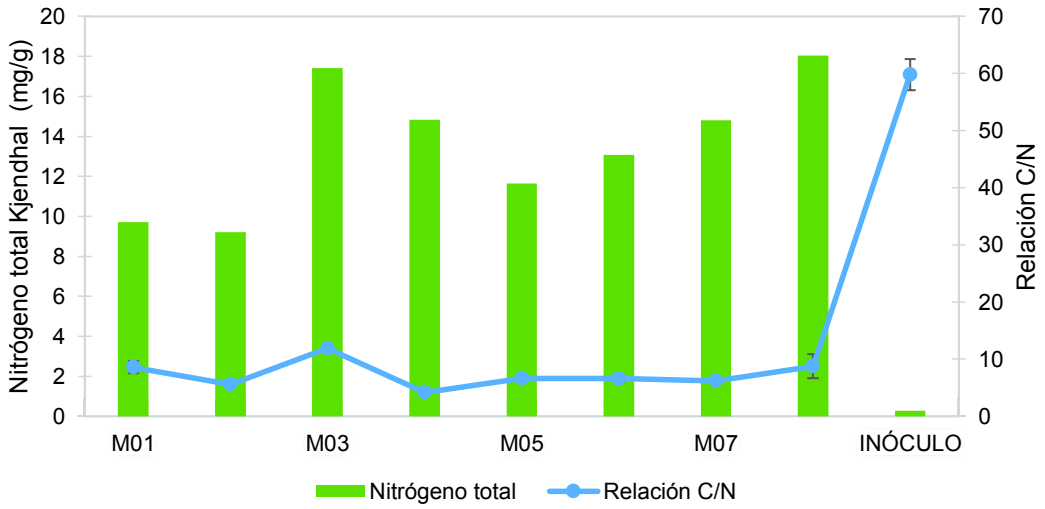
Pérez y Torres (2008) refieren que el rango óptimo para la digestión anaerobia en la relación AI/AT es de 0,2 a 0,4, siendo únicamente la muestra M02 la que se acerca a estos valores. Las mezclas cuyo porcentaje de VI es mayor al de GA y PO reportan valores de 1 para la relación de AI/AT lo cual indica principios de acidificación en estos reactores, esta relación disminuye cuando en la mezcla existe un mayor porcentaje de GA y PO respecto a las VI, como se observa en los ensayos M01, M05, M06 y M07.

El inóculo reportó valores de pH de 8,2 y relación de AI/AT de 0,2; lo que muestra presencia de mayor cantidad de carbonatos y bicarbonatos en el mismo, favoreciendo la capacidad de recuperación ante cambios bruscos en el pH, la relación AI/AT se encuentra dentro del rango óptimo para la digestión anaerobia.

4.2.3. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL Y RELACIÓN C/N

La **Figura 4.4** muestra el Nitrógeno Total Kjendhal (NTK) y la Relación C/N presentes en las muestras de los 8 ensayos e inóculo objeto de este estudio. Los resultados correspondientes al NTK se encuentran en el **Anexo I**.

FIGURA 4.4 *NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL* Y RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO DE LAS MUESTRAS *ANTES DEL TRATAMIENTO*



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

El NTK en los distintos ensayos tomó valores entre 9,2 mg/g y 18 mg/g correspondientes a las mezclas M02 y M08, respectivamente. En promedio las muestras presentaron un contenido de NTK de 13,6 mg/g con un coeficiente de variabilidad entre los datos de 24,2%.

Los valores más bajos de este parámetro fueron reportados por la muestra con el contenido de 100% de GA (M02) con un valor de 9,2 mg/g y aquellas que tienen este residuo en mayor proporción (M01 y M05) con 9,7 mg/g y 11,6 mg/g , la mezcla de los 3 residuos beneficia incorporando una mayor cantidad de nutrientes al sustrato.

Estrada (2005) refiere valores de Nitrógeno total para la GA de 3 mg/g a 12 mg/g, valores que están en concordancia a los medidos en estos ensayos (9,21 mg/g).

Por su parte, Delgado, et al., (2016) reporta un contenido de Nitrógeno total para la PO de 35 mg/g a 46 mg/g, en este estudio se obtuvo un valor de 17,4 mg/g, el cual se encuentra fuera del rango de la referencia. Finalmente, Yoon et al., (2014) presenta en su trabajo datos para las VI de 64,5 mg/g, cuyo valor difiere al obtenido en este ensayo el cual fue de 14,8 mg/g. Los valores obtenidos en esta investigación difieren de los autores debido a la influencia de factores como: la edad de las aves, la dieta de las mismas, tiempo de acumulación de los residuos y densidad del galpón.

El valor medio para la relación C/N fue de 7,3 con un coeficiente de variabilidad entre los datos de 32,5%. Este parámetro varió de 4,2 a 11,9; siendo el menor para la mezcla M04 y el mayor para el M03, lo cual indica que estos residuos presentan un exceso de nitrógeno y una deficiencia de carbono, lo que podría desencadenar en problemas de inhibición por amonio. Los resultados obtenidos muestran que la mezcla de residuos si mejora la relación C/N para el caso de la muestra M02 (GA:PO:VI, 100:0:0) y M04 (GA:PO:VI, 0:0:100).

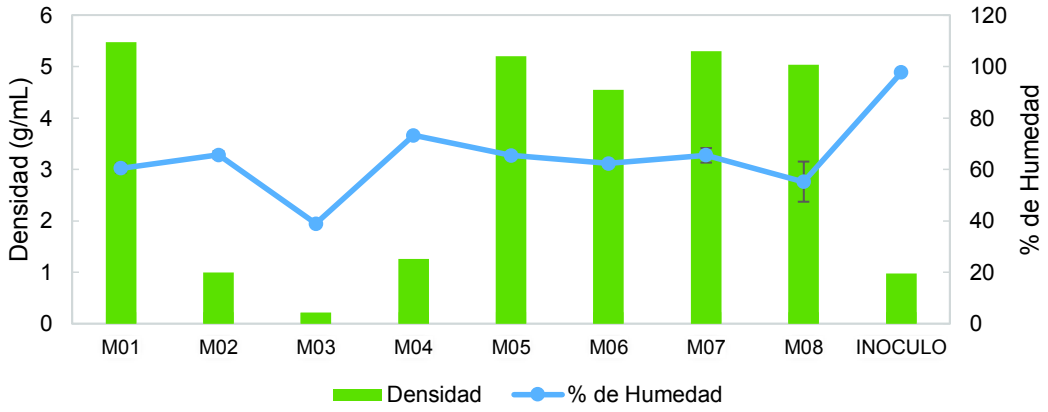
Estrada (2005) muestra valores para la relación C/N para la GA de 6,2 a 12,1, los mismos que al compararse con los obtenidos en este ensayo (5,6) son cercanos. De igual forma, Delgado et al., (2016) reporta la relación C/N para la PO entre 7,8 y 10,3, en el caso de los ensayos realizados el valor obtenido (11,9) no se aproxima al reportado bibliográficamente, de la misma forma estos datos no guardan relación con el valor óptimo necesario para la degradación anaerobia (30/1). En caso de que la relación C/N fuera mayor al valor optimo la cantidad de nitrógeno no sería suficiente para permitir el crecimiento bacteriano y la velocidad de la producción de biogás se vería afectada (Díaz, 2001).

El inóculo presentó valores de 0,3 mg/g para el NTK y una relación C/N de 59,8, como podemos observar la relación C/N presenta un valor alto debido principalmente a que el inóculo fue sometido ya a un tratamiento previo de digestión anaerobia, el cual ha mejorado sus características físico-químicas.

4.2.4. DENSIDAD Y HUMEDAD

En la **Figura 4.5** se presentan los resultados de la Densidad y Porcentaje de humedad de los ensayos antes de someterse al tratamiento anaerobio.

FIGURA 4.5 DENSIDAD Y HUMEDAD ANTES DEL TRATAMIENTO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Para la densidad los valores obtenidos en el ensayo fueron de 0,2 g/mL a 5,5 g/mL para los ensayos M03 y M01 respectivamente. El valor promedio de densidad de las 8 muestras fue de 3,5 g/mL, con un coeficiente de variabilidad del 64,3%, mostrando que los valores correspondientes de este parámetro son heterogéneos entre sí.

El % de Humedad varió de 38,9% a 73,3% para las mezclas M03 y M04 respectivamente. Esto concuerda con el contenido de ST medidos, siendo la mezcla M03 la que reportó el mayor contenido de ST respecto a las otras muestras, de igual forma la mezcla M04 presentó el contenido de ST más bajo en comparación con el resto de ensayos. El valor medio calculado para % de Humedad fue de 60,9%, con un coeficiente de variación entre valores de 16,8%. Este valor indica que las mezclas a ensayar facilitan la degradabilidad del sustrato, debido a que la Fase Metanogénica se da en mejores condiciones al existir una humedad entre el 50% y 70 (Gonzáles et al., 2008).

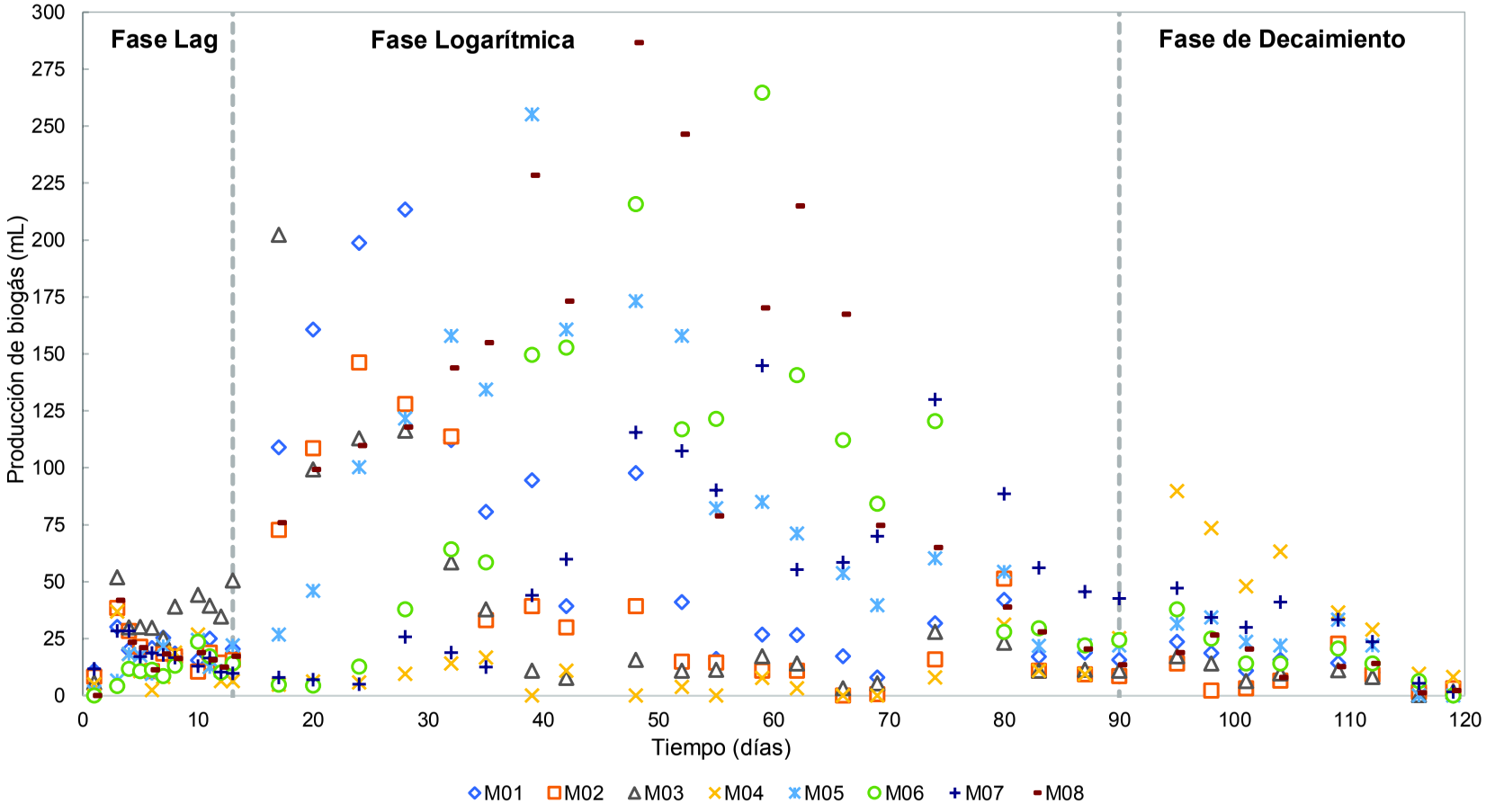
El % de Humedad para la GA calculada en este estudio fue de 65,6%, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Riera et al., (2014) y Estrada (2005) cuyos valores son de 57,8% a 72,7%. Por otro lado, para la PO se obtuvo un % de Humedad de 38,9%, mismo que no se aproxima al valor reportado por los mismos autores (25,8% a 27,6%).

La densidad del inóculo fue de 0,98 g/mL, mientras que el % de Humedad presenta el valor de 97,8%, cuyo valor indica que el proceso del que proviene se efectuó de forma favorable para la producción de biogás.

4.3. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

En la **Figura 4.6** se muestra la producción de biogás diaria registrada durante el periodo de incubación de las muestras (119 días). Además, en la **Tabla 4.3** se puede observar la variación de la producción de biogás respecto al tiempo. Todos los datos de la cuantificación de la producción de biogás en cada una de las muestras se encuentran en el **Anexo II**.

FIGURA 4.6 PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS (mL / día)



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.6** se puede observar que la producción de biogás se dio en 3 fases, Fase Lag (0 – 13 días), Fase Logarítmica (14 – 90 días) y Fase de decaimiento (91 – 119 días).

Durante la Fase Lag, se evidenció que la producción de biogás varió de 0 mL (M06 y M08) a 52 mL (M03). En la Fase Logarítmica la producción diaria de biogás se mantuvo en un rango entre 4 mL (M06) a 287 mL (M08). De la misma forma las muestras M01, M03, M05, M06 y M08 generaron volúmenes de biogás superiores a los 200 mL. En la última fase o fase de decaimiento el valor máximo de producción diaria de biogás fue de 47 mL (M07) y el valor mínimo 0 mL (M01, M03, M05 y M06).

En el caso del reactor M04 las fases de producción de biogás se desplazaron 17 días, por ende, la fase lag ocurrió desde 0 a los 28 días, la fase logarítmica de los 29 a 104 días y la fase de decaimiento de los 105 días en adelante. Lo ocurrido se debió a que este reactor corresponde a la muestra que contiene 100% de VI, siendo este un residuo difícil de biodegradar ya que los lípidos son el componente mayoritario de los mismos, una situación similar lo reportó Yoon et al (2014) en su estudio con el mismo residuo.

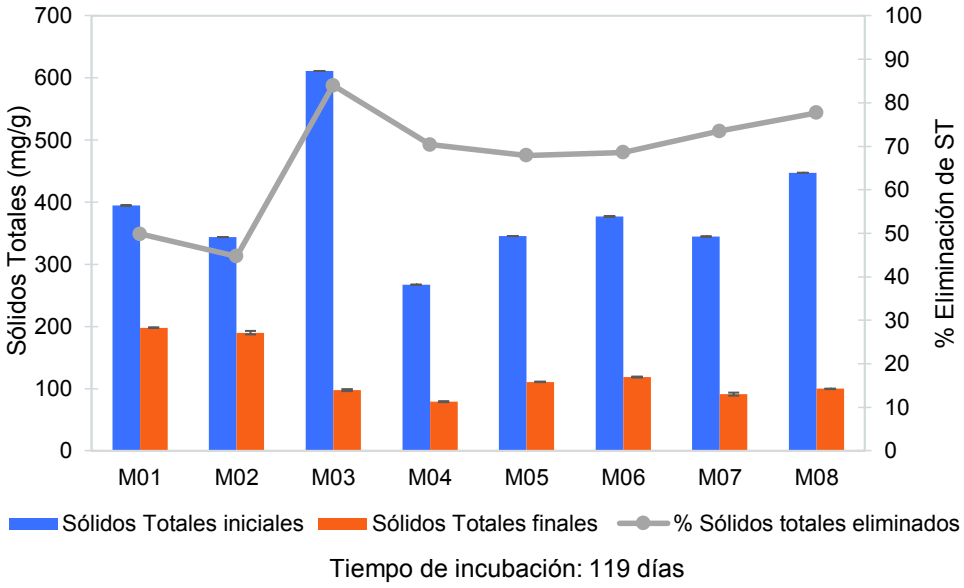
4.4. DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA QUE OPTIMIZA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

4.4.1. ELIMINACIÓN DE PRODUCTOS

4.4.1.1. Sólidos Totales

Los resultados del contenido de Sólidos totales, así como el Porcentaje de eliminación de cada muestra que fue sometida a tratamiento anaerobio se muestran en la **Figura 4.7**.

FIGURA 4.7 CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Luego de la biodegradación anaerobia el porcentaje de eliminación de los ST fue de 45% (M02) a 84% (M03). Las muestras M03, M08 y M07 registraron los porcentajes de eliminación de ST más altos con 84%, 78% y 74%, respectivamente. Mientras que, las muestras M02 y M01 registraron los porcentajes de eliminación de ST más bajos, correspondiente a 45 % y 50%. La eliminación de 87% de ST en la mezcla M03 esta atribuida principalmente a que el inóculo aporto una cantidad considerable de agua a la misma antes de someterla al proceso de degradación.

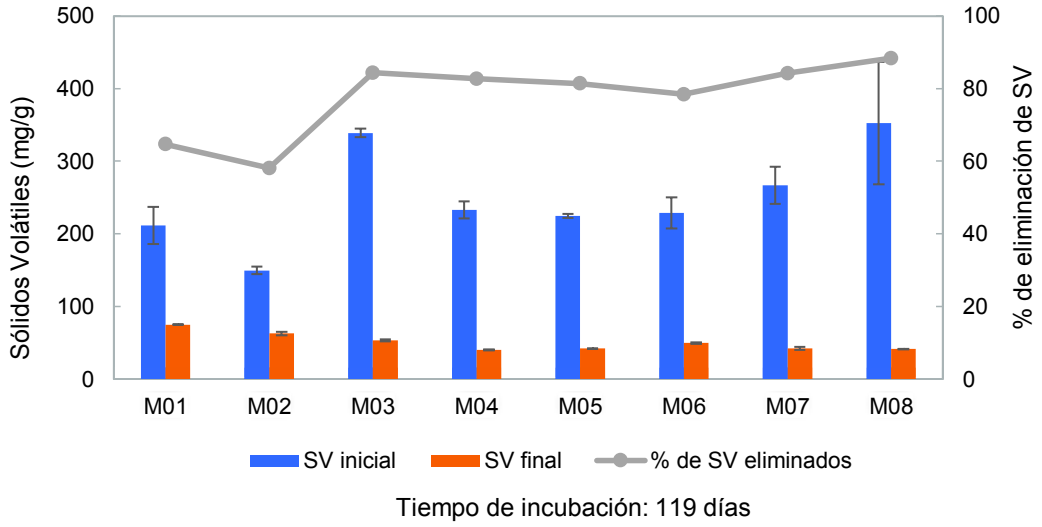
En promedio la eliminación de ST en las muestras objeto de este estudio fue de 67%. Carhuancho (2012) en un estudio similar reportó una eliminación de los ST de 2% para la GA, 62% para la PO y 58% para una mezcla de estos residuos, al compararlos con los resultados obtenidos en el presente estudio se observa que la eliminación de ST fue mayor para el caso de la GA y PO, obteniendo una eliminación del 45% (M02) y 84% (M03), respectivamente. Por otro lado, la eliminación de ST en la mezcla de residuos si es menor en este estudio a la reportada por el anterior autor, con un valor de 50% (M01).

Finalmente, en promedio los ensayos después del tratamiento anaerobio presentaron una cantidad de ST de 123,1mg/g, con una variabilidad entre los datos de 36,8%, el valor más bajo se registró en la muestra M04 (79,2 mg/g) y el valor máximo en la muestra M01 (198 mg/g). AINIA (2012) reporta que para que el sustrato no sedimente y de esa forma el proceso anaerobio y la producción de biogás se de en condiciones favorables debe ser <100 mg/g, cumpliéndose este requisito en los ensayos M03, M04, M07 y M08.

4.4.1.2. Sólidos Volátiles

Los resultados del contenido de Sólidos volátiles de cada ensayo y su Porcentaje de eliminación después del tratamiento anaerobio se muestran en la **Figura 4.8**.

FIGURA 4.8 CONTENIDO DE SÓLIDOS VOLÁTILES DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Después del proceso de digestión anaerobia, se observó que los SV variaron de 41,1 mg/g a 74,72 mg/g para los ensayos M08 y M01 respectivamente. Además, se registró que las mezclas M05, M06, M07 y M08 presentaron valores finales de SV similares (41,8; 49,4; 42,2; 41,1 mg/g respectivamente). El valor promedio de

los SV en los ensayos fue de 50,65 mg/g, con un coeficiente de variabilidad de 24,5% entre los mismos.

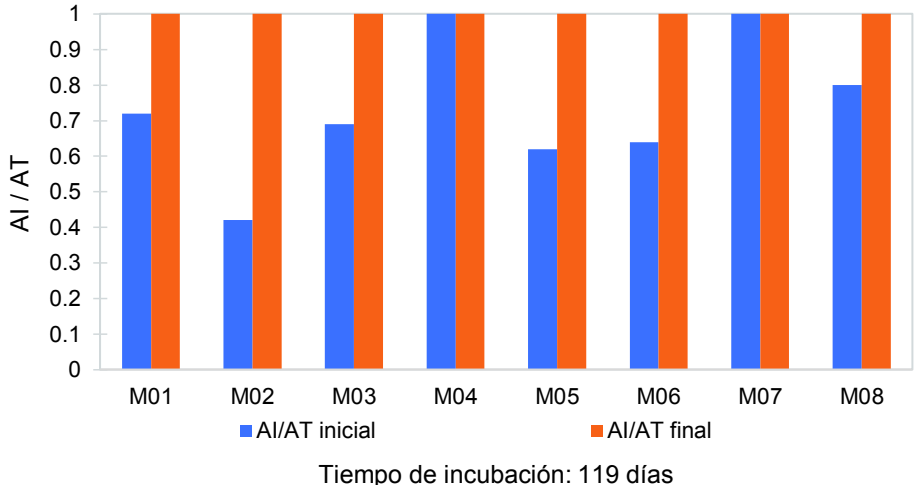
Finalmente, el porcentaje de eliminación de los SV tomó valores entre 58,1% a 88,3% para los ensayos M02 y M08 respectivamente, eliminándose la mayor cantidad de materia orgánica en la mezcla que contiene iguales proporciones de GA, PO y VI. De forma general todos los ensayos presentaron un porcentaje de eliminación superior al 50%. El valor promedio de eliminación de SV fue de 78%, mostrando notoriamente su reducción con respecto a los SV iniciales.

La relación SV/ST 33% a 54,4%, indicando que todas las muestras ya no poseían la cantidad adecuada (>60%) de materia orgánica para biodegradar en el proceso de digestión anaerobia (AINIA, 2012).

4.4.1.3. Relación de alcalinidades AI/AT

En la **Figura 4.9** se presentan los valores registrados para la relación AI/AT antes y después del proceso de degradación en las 8 muestras que fueron objeto de este estudio. Los resultados correspondientes a la evaluación de este parámetro en la fase inicial y final de la biodegradación anaerobia se encuentran en el **Anexo I** y **Anexo III**.

FIGURA 4.9 RELACIÓN AI/AT DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

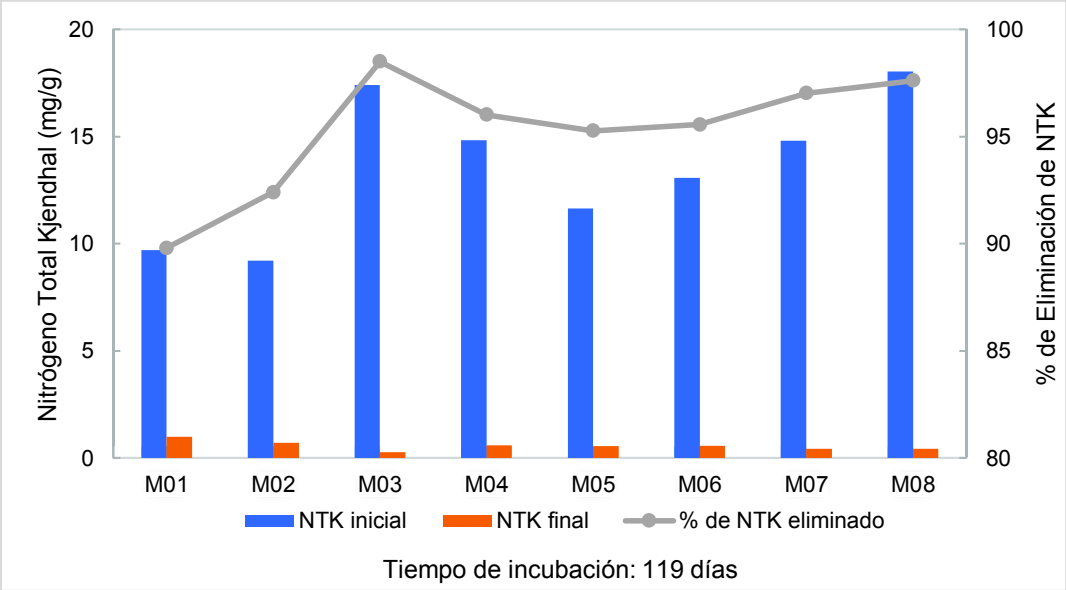
En la **Figura 4.9** se observa que la relación de alcalinidades después de la biodegradación anaerobia de las muestras M04 y M07 no varió respecto a la inicial. El resto de las muestras mostraron un incremento de este parámetro.

La relación AI/AT después del proceso anaerobio tomo el valor de 1 para los 8 tratamientos realizados. Pérez y Torres (2018) refieren que la relación AI/AT tiene una adecuada variación en el rango de 0,2 a 0,4 mostrando un buen funcionamiento del reactor; mientras que, valores mayores a 0,4 indican principios de acidificación en el mismo. En el caso de todos los ensayos realizados se tiene una acumulación de los AGV por lo que el sistema pudo sufrir inestabilidad, siendo sensible a caídas bruscas del pH con un nuevo aumento de la concentración de AGV (Cajigas et al., 2005).

4.4.1.4. Nitrógeno Total Kjendhal

La **Figura 4.10** muestra el porcentaje de eliminación del Nitrógeno Total Kjendhal después del tratamiento anaerobio para las 8 muestras estudiadas. Los resultados del análisis de este parámetro se encuentran en el **Anexo I** y **Anexo III**

FIGURA 4.10 NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la figura anterior se observa que el NTK al final de la biodigestión anaerobia tomó valores que van desde 0,4 mg/g hasta 0,9 mg/g en los reactores M08 y M01, respectivamente. El valor promedio de NTK del proceso fue de 0,6 mg/g, el coeficiente de variabilidad entre los datos de 38,1%.

Además, el porcentaje de eliminación del NTK se encuentra entre 89,8% a 98,5%. La muestra M03 fue la que presentó mayor porcentaje de eliminación (98,5%) correspondiente al 100% de PO; mientras que, el ensayo M01 el menor porcentaje (89,8%). Las mezclas de residuos mostraron porcentajes de eliminación que fueron desde 95,3% para M05 a 97,6% para M08, siendo esta última, de entre las mezclas, la que mayor NTK eliminó. En promedio se reportó que se elimina el 95,3% de NTK.

Montalvo y Guerrero (2003) refieren que en los procesos de digestión anaerobia la mayoría de nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno amoniacal, de existir nitrógeno en exceso la producción de amoníaco se incrementa a tal punto de inhibir el proceso por encima de los 80 a 100 mg/L.

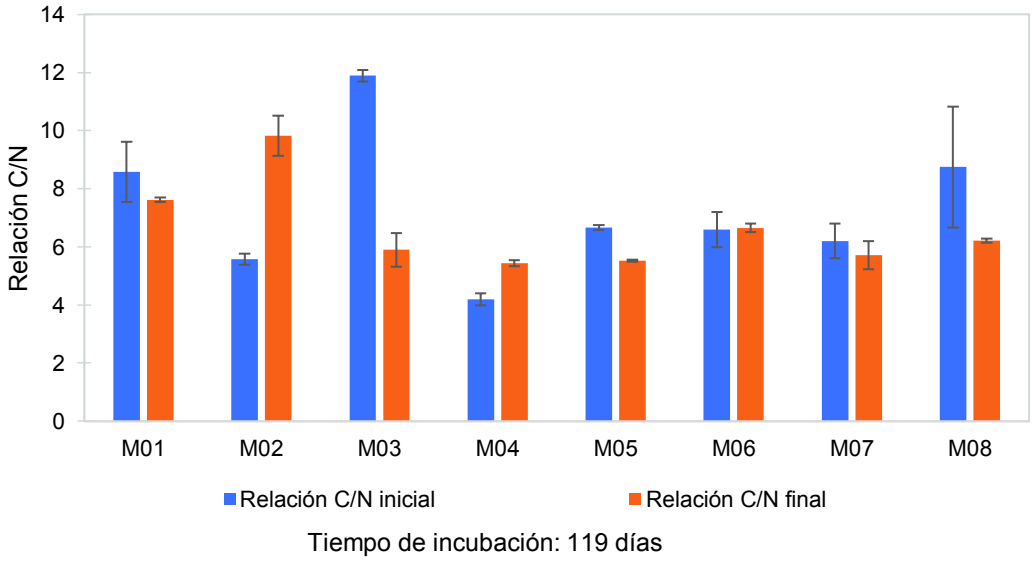
Ortiz et al. (2014) argumentan que a valores de pH superiores a 8 se promueve la producción de amoniaco libre, lo cual se evidenció en este ensayo, en el que las condiciones de pH (8,8) y la cantidad de nitrógeno eliminada (95,3%) después de la biodegradación anaerobia, indicaron que el nitrógeno se transformó en amoniaco libre (NH_3) con la presencia de un olor desagradable característico al finalizar la experimentación.

Carhuancho F. (2012) en su estudio señalan que el porcentaje de Nitrógeno para un biol de mezcla de GA y PO es de 3,7 mg/g. En esta investigación, se obtuvo un valor final promedio de 0,6 mg/g encontrándose muy por debajo del dato reportado por los autores.

4.4.1.5. Relación C/N

La **Figura 4.11** describe la relación carbono nitrógeno en cada una de las muestras ensayadas después de la biodegradación anaerobia.

FIGURA 4.11 RELACION C/N DESPUÉS DE LA DEGRADACIÓN ANAEROBIA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.11** se observa que la relación C/N después del tratamiento tomó valores entre 5,4 (M04) y 9,8 (M02) , en promedio el valor para este parámetro fue de 6,6 con una variabilidad de los datos de 22,4%. El valor de relación C/N obtenido no concuerda con el que menciona Varnero (2011) para un lodo estabilizado por digestión anaerobia cuyo valor fue 25.

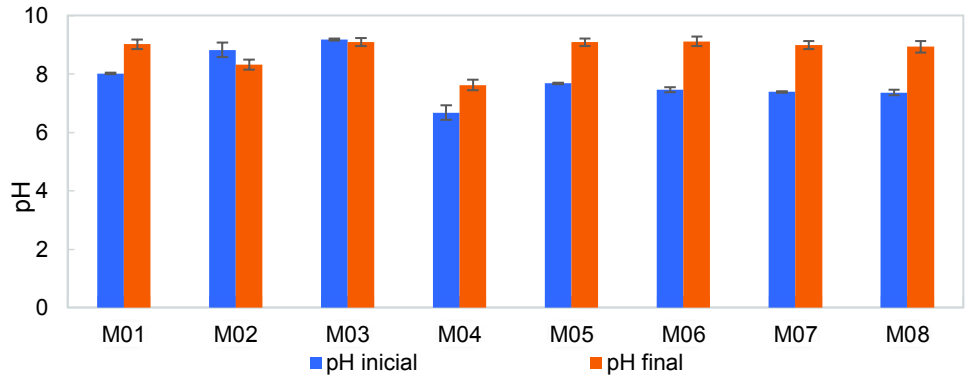
La baja relación C/N reportada antes y después de la biodegradación anaerobia estuvo en el orden de 7,3 y 6,6 respectivamente, indicando que existe una cantidad de carbono que no es suficiente para degradar la totalidad del nitrógeno presente en las muestras, estos valores se alejan del óptimo reportado en la bibliografía para estos procesos, cuyo valor es 30 (Varnero, 2011).

Sosa et al. (1999) refieren que una relación C/N de 8,1 o menor inhiben la actividad bacteriana debido a la formación de altas cantidades amonio (>1500 a 3000 mg/L), esta fue la causa de la elevada eliminación de nitrógeno reportada en este estudio (95,3%).

4.4.1.6. Potencial Hidrógeno

A continuación, en la **Figura 4.12** se muestran los resultados de pH registrados antes y después de la degradación anaerobia para las 8 mezclas objeto de este estudio.

FIGURA 4.12 POTENCIAL HIDRÓGENO DESPUÉS DE LA BIODEGRADACIÓN ANAEROBIA



Tiempo de incubación: 119 días

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

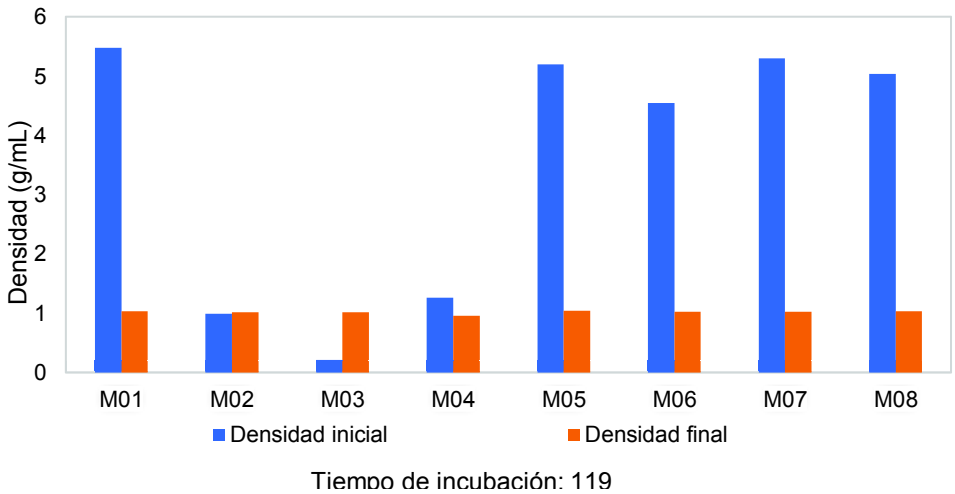
En la **Figura 4.12** se observa que el pH de los ensayos varió entre 7,63 (M04) y 9,1(M06), en general existe un aumento en el valor final del pH siendo la muestra M06 quien reporta el mayor pH , el promedio de pH fue de 8,8 con 6,1% de variación en los datos. Además, el pH correspondiente a las mezclas presentó un aumento, al ser comparado con el de las muestras independientes. Esto podría demostrar que al mezclar los residuos la cantidad de AGV's, así como el amonio, se encuentran en mayor proporción que en las muestras independientes, alterando el valor del pH tal como se muestra en los resultados de la gráfica.

La acumulación de AGV en las muestras origina una caída de pH como lo evidenciado en los ensayos M02 y M03; mientras que, las muestras M01, M04, M05, M06, M07 y M08 presentaron olores debido a un incremento en la producción de amonio libre producto del aumento en el pH y a la presencia de H_2S la cual está contenida en el biogás (Ortiz et al., 2014).

4.4.1.7. Densidad

La **Figura 4.13** describe la densidad de los 8 ensayos antes y después del tratamiento anaerobio.

FIGURA 4.13 DENSIDAD DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.13** se puede observar que la densidad de los ensayos después de la degradación tomó valores entre 0,96 g/mL (M04) y 1,05 g/mL (M05).

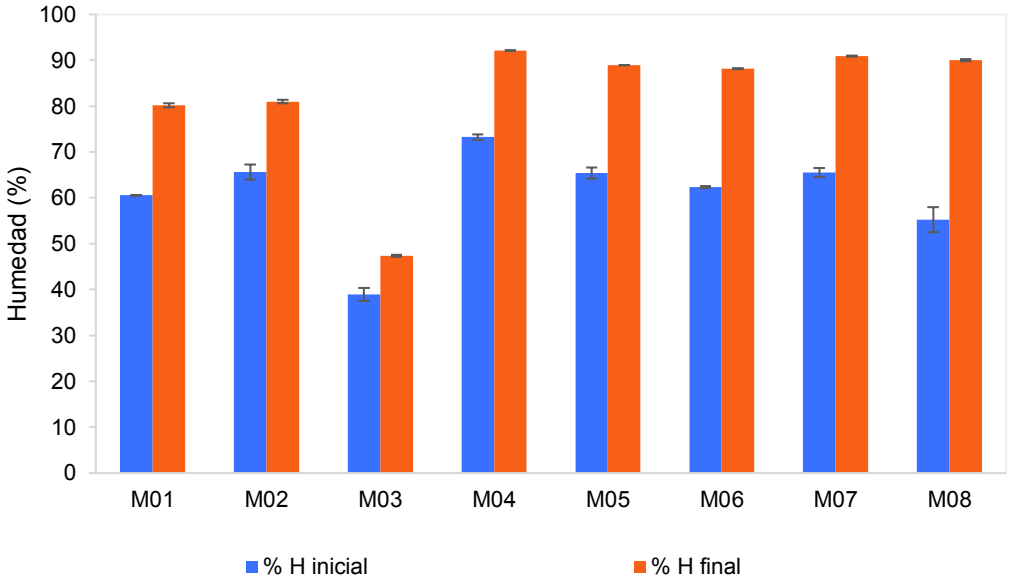
En promedio la densidad obtenida fue de 1,02 con una variabilidad de los datos del 2,6% indicando que los valores son homogéneos entre sí.

Se muestra también que, las densidades iniciales de las mezclas fueron superiores a las de las muestras independientes, después de la degradación se observa que las densidades de las muestras fueron similares para las 8 mezclas, estos valores posiblemente se encuentren sujetos a errores en las mediciones.

4.4.1.8. Humedad

El porcentaje de humedad que presentaron las ocho muestras luego del tratamiento anaerobio se detallan en la **Figura 4.14**.

FIGURA 4.14 PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

En la **Figura 4.14** se puede observar que la humedad en los ensayos después de la degradación tomo valores de 47,4% (M03) a 90,9% (M07), la muestra M08 fue la que reportó el mayor aumento en la humedad, favorecido por el aporte de agua de la GA y las VI, residuos que presentaron el mayor porcentaje de humedad inicialmente y esto sumado también a la cantidad de agua incorporada por el inóculo.

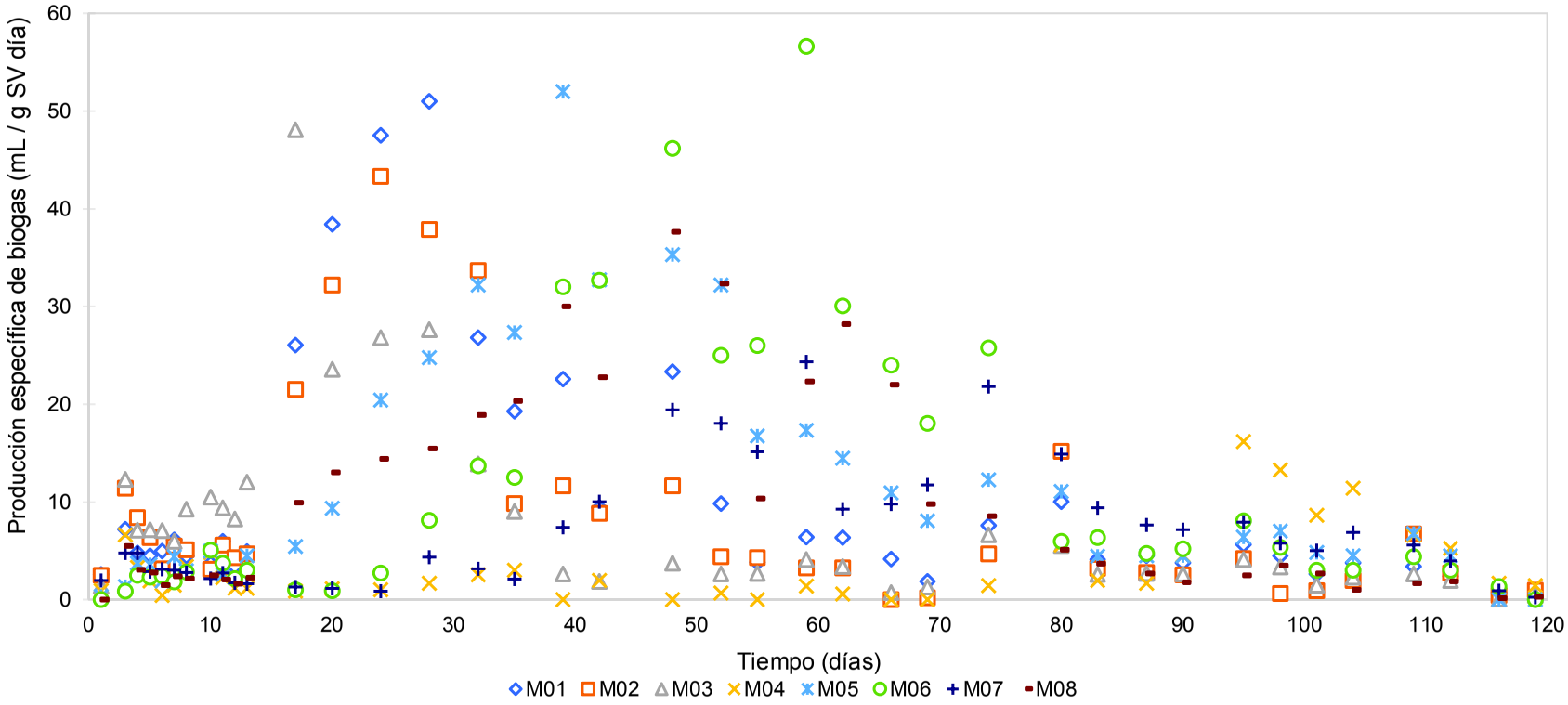
En promedio el porcentaje de humedad de las muestras después del tratamiento fue de 88,2% con una variabilidad de los datos del 18%, cuyo valor lo ubica dentro de lo óptimo para estos procesos (>60%), excepto en el caso de la muestra M03. La presencia de agua facilita el equilibrio entre la producción de biogás y la humedad necesaria para la digestión del sustrato, por lo que la mayoría de los ensayos estudiados se desarrollaron en las condiciones óptimas de humedad (AINIA, 2012).

4.4.2. PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DE BIOGÁS

4.4.2.1. PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DIARIA DE BIOGÁS

La **Figura 4.15** indica la producción diaria de biogás con respecto al contenido de sólidos volátiles que presentó cada muestra durante el tiempo de experimentación. Los valores de producción registrados se presentan en el **Anexo IV**.

FIGURA 4.15 PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DIARIA DE BIOGÁS



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Con respecto a la **Figura 4.15** se puede observar que la producción especifica de biogás varió entre 0 y 59,62 mL /g SV día. Los picos de producción de biogás en los reactores se alcanzan en la fase logarítmica (13 a 104 días), la máxima producción de biogás en este periodo se presentó en los reactores M06 (56,62 mL /g SV día), M05 (51,99 mL /g SV día) y M01 (51,01 mL /g SV día) los días 59, 39 y 28, respectivamente. Por otro lado, la menor producción de biogás en este periodo se dio el día 80 en el reactor M04 con una producción de biogás de 16,20 mL /g SV día.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró mediante la comparación de medias que la producción diaria específica de biogás en las mezclas fue estadísticamente distinta con un valor de p = 0,01. Se obtuvo un valor medio en el rango de 3,14 mL /g SV día a 11,36 mL /g SV día. La máxima producción de biogás se registró en las muestras M05, M06 con valores semejantes de 11,36 mL /g SV día y 11,10 mL /g SV día, respectivamente. Mientras que, la muestra M04 reportó la menor producción de biogás con 3,14 mL /g SV día.

Posteriormente el análisis de diferencias significativas (Prueba de Tukey) mostró que el reactor M04 es el que presenta diferencias significativas al compararlo con los reactores M01, M05 y M06, por su parte, los reactores M05 y M06 no presentan diferencias significativas entre ellos. Los valores de p para esta prueba se detallan en la **Tabla 4.5**. Las pruebas estadísticas realizadas se presentan en el **Anexo V**.

TABLA 4.1 VALORES DE P ENTRE ENSAYOS PARA LA PRUEBA DE TUKEY

Diferencia de niveles	Valor p Ajustado	Diferencia de niveles	Valor p ajustado
M 02 - M 01	0,995	M05 - M03	0,765
M03 - M 01	0,949	M06 - M03	0,827
M04 - M 01	0,044	M07 - M03	1,000
M05 - M 01	1,000	M08 - M03	0,995
M06 - M 01	1,000	M05 - M04	0,010
M07 - M 01	0,815	M06 - M04	0,015
M08 - M 01	1,000	M07 - M04	0,758
M03 - M 02	1,000	M08 - M04	0,121
M04 - M 02	0,286	M06 - M05	1,000
M05 - M 02	0,932	M07 - M05	0,532
M06 - M 02	0,959	M08 - M05	0,993
M07 - M 02	0,996	M07 - M06	0,610
M08 - M 02	1,000	M08 - M06	0,997
M04 - M03	0,523	M08 - M07	0,953

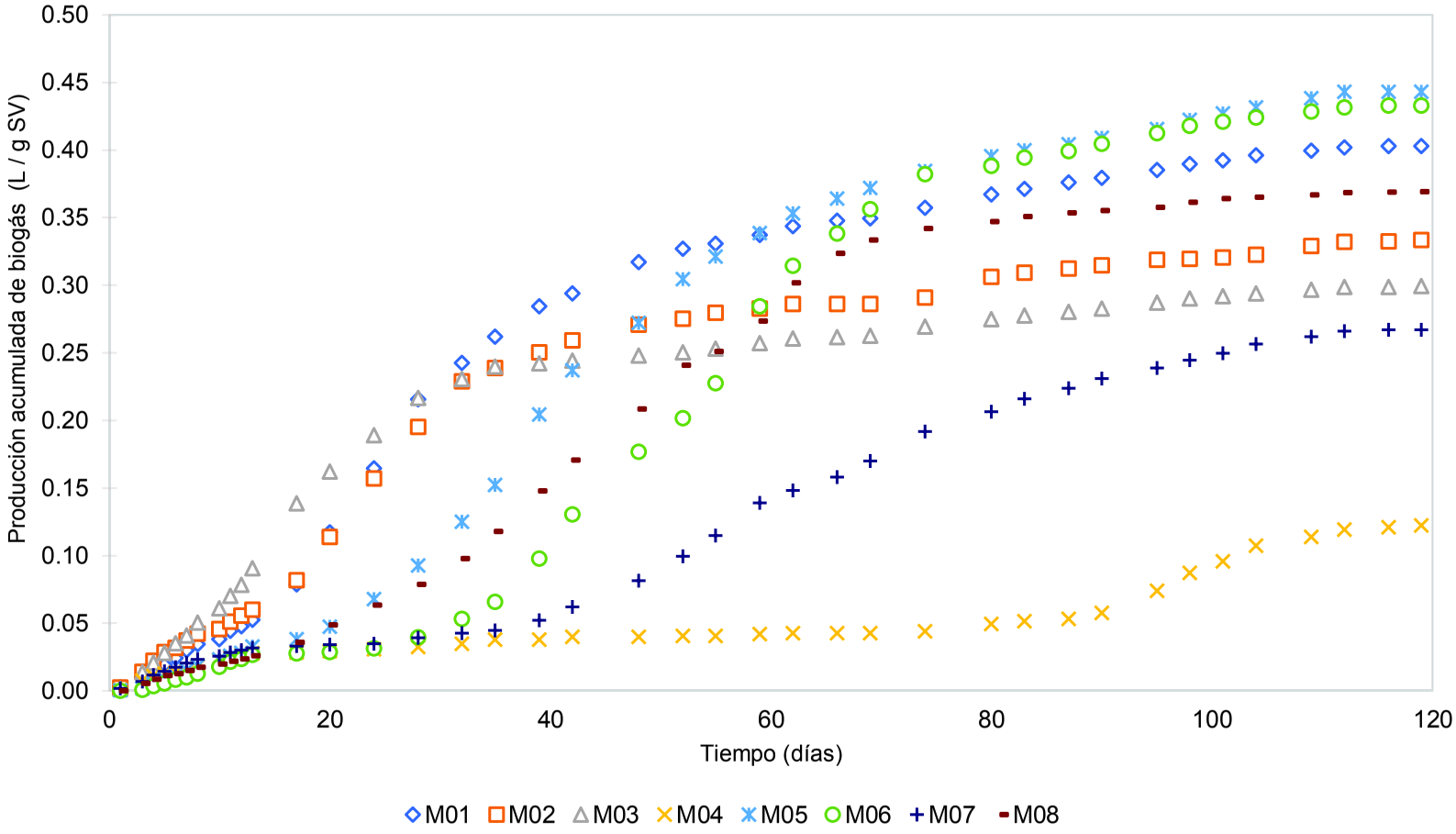
Nivel de confianza individual = 99,74%

ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

4.4.2.2. PRODUCCIÓN ESPECÍFICA ACUMULADA DE BIOGÁS

Las curvas de producción específica acumulada de biogás generadas en el desarrollo del experimento se presentan en la **Figura 4.16**. El registro de la producción acumulada específica acumulada de biogás se encuentra en el **Anexo VI**.

FIGURA 4.16 PRODUCCIÓN ACUMULADA DE BIOGÁS (L / g SV) PARA LAS 8 MEZCLAS DE RESIDUOS ANALIZADA



ELABORACIÓN: Barrera y Manobanda (2018)

Como se observa en la **Figura 4.16** la producción específica acumulada de biogás varió de 0,12 L /g SV a 0,44 L /g SV, la máxima producción de biogás se obtuvo en los reactores M05 y M06 con valores semejantes de 0,44 L /g SV y 0,43 L /g SV, respectivamente. Por su parte, la menor producción de biogás fue reportada por el reactor M04.

Considerando que la composición del biogás en residuos avícolas contiene entre 60 a 80% de metano (AINIA, 2012), se pudo estimar que la mayor producción de metano fue de 0,31 L /g SV, al compararlo con la bibliografía este valor es menor al reportado por Marín et al. (2015) de 0,58 L /g SV en su ensayo con GA e inoculo de estiércol bovino, al igual que Yoon et al. (2014) quien reporta una producción de metano de 0,41 L /g SV para una mezcla de estiércol y plumas de gallina.

La producción de metano que se obtuvo (0,31 L /g SV) fue menor a la reportada en otros estudios similares debido a que en este estudio se presentó inhibición de la metanogénesis, ocasionada por una acumulación de los AGV y una producción de amonio. Además, la relación C/N inicial que presentaron las muestras no fue la indicada para que se efectúe el proceso de biodigestión anaerobia, por tal razón, es posible concluir que este parámetro afectó la producción máxima de biogás.

Al finalizar el ensayo se evidenció que las mezclas cuyo contenido mayoritario era GA y PO presentaron los valores más altos de producción de biogás, así M05, M06 y M01, las cuales contienen menos del 25% de VI. La mezcla de residuos permitió incrementar la producción de biogás 3,6 veces.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados de la caracterización físico química mostraron que los residuos objeto de este estudio (GA, PO y VI) no se acercan a los valores establecidos como óptimos para la digestión anaerobia. Sin embargo, la mezcla de estos en las proporciones definidas si mejoró estas condiciones, como en el caso de SV, pH, C/N y AI/AT ocasionado que las mezclas si muestren un potencial para ser digeridos anaeróbicamente.
- La eliminación de materia orgánica alcanzó valores promedio de alrededor del 79% para los SV, mostrando que el proceso de digestión anaerobia es efectivo al tratar los residuos avícolas con mejores resultados cuando se mezclaron los mismos (88,3%) para la mezcla en iguales proporciones de GA, PO y VI de 33,3%. Por otro lado, la metanogénesis se vio inhibida debido a la acumulación de AGV en todos los biodigestores, además de la transformación de una considerable cantidad de nitrógeno a nitrógeno amoniacal (95%) con la consecuente afectación de la producción de metano y generación de olores característicos en los reactores.
- El análisis estadístico mostró que la producción específica diaria de biogás si presentó diferencias estadísticamente significativas entre los reactores M05 (GA:PO:VI, 50:25:25) - M04 (GA:PO:VI, 0:0:100) y M06 (GA:PO:VI, 25:50:25) - M04, siendo los reactores M05 y M06 los de mayor producción de biogás con valores de 11,36 mL /g SV y 11,10 mL /g SV respectivamente, los cuales difieren significativamente del reactor M04 cuya producción de biogás fue 3,14 mL /g SV. La producción de biogás se vio favorecida en los reactores M05 y M06 debido a que en las mezclas los residuos intestinales estaban en menor proporción respecto a sus otros componentes, como se

evidencia la menor producción de biogás es aquella en donde las VI conforman el 100% de la mezcla (M04).

- La mezcla de residuos avícolas en diferentes proporciones si optimiza la producción de biogás, esto se evidenció al obtener una producción acumulada especifica de biogás de 0,44 L /g SV para el reactor M05 (GA:PO:VI, 50:25:25), que al compararse con la menor producción de biogás de 0,12 L /g SV correspondiente al reactor M04 (GA:PO:VI, 0:0:100) incrementa el resultando en 3,6 veces.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, en próximos ensayos con este mismo tipo de residuos, previo a la biodegradación se realicen técnicas que permitan la remoción del exceso de amoniaco presente en estos sustratos para de esta forma evitar que se presenten problemas de inhibición y a la vez incrementar la producción de biogás.
- Es necesario modificar el modelo experimental, de tal forma que permita monitorear el pH de los reactores periódicamente para que sea posible detectar problemas de acidificación que se puedan registrar en los reactores y de esta forma resolverlos.
- Es importante que, en este tipo de estudios, se analice además de la cantidad de biogás generado, la composición del mismo, a tal punto de conocer la cantidad de metano presente.
- Realizar este ensayo utilizando un volumen superior al de este estudio, permitiría determinar si la producción de biogás tiene el mismo comportamiento que se ha observado para de esta forma poder replicarlo ya a escala industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, L y Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos técnicos. Parte 1. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar, XXXIX.(1), 35-48.

AINIA Centro Tecnológico. (2012). Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales. Recuperado el 3 de mayo de 2018, de http://www.coitavc.org/cms/site_0001/comunicados/AINIA.

Aillón, M. (2012). Propuesta e implementación de un proyecto comunitario que se dedicará a la crianza, producción, y comercialización avícola en la parroquia Ascázubi (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador: 245 pp.

Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Van Lier, J. B. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. Water Science and Technology, 59(5), 927-934.

Amado, E., y Prada, S. (2014). Evaluación de la producción de biogás a partir de la pollinaza. Instituto de Biocombustibles, Energías Alternativas y Renovables (IBEAR). Universidad de Pamplona, Santander, Colombia. Convenio No. 193, 1-15.

APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ed21st edition. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.

Astals, S., Batstone, D.J., Tait, S., Jensen, P.D. (2015). Development and validation of a rapid test for anaerobic inhibition and toxicity. Water Research, 81, 208-215.

Bautista, J. y Burgos, C. (2014). Relatorio de Impacto Ambiental "Granja Avícola de Producción de Huevos Costa Fleytas Aregua". 1-29.

Bermúdez, J. J., Canovas, M., Manjón, A., Iborra, J. L. y Howel J. A. (1988). La digestión anaerobia. Universidad de Murcia. (2) 1-75.

Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G., y Bocco, G. (2000). La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. Revista internacional de contaminación ambiental, 16(1), 19-26.

Caicedo Messa, F. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor USB piloto para el tratamiento de lixiviados (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales: 49pp.

Cajigas, A., Pérez, A. y Torres, P. (2005). Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Scientia et Technica, Año XI (27), 243-248.

Campos, A. E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. (Tesis Doctoral). Universidad de Lleida, España: 394pp.

Cárdenas, L., Parra, B., Torres, P. y Vásquez C. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. Revista ION, 29 (1), 95-108

Carhuancho, F. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola (Tesis de pregrado). Universidad nacional agraria La Molina, Lima, Perú: 148pp.

Carmona, J,, Bolívar, D,, y Giraldo, L, (2005), El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a

nivel ambiental y productivo, Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18(1), 49-63.

Chiriboga, P. (2015). Evaluación de tres balanceados energéticos-proteícos comerciales y dos aditivos alimenticios en la alimentación de pollos parilleros. Tumbaco. Pichincha (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador: 86pp.

Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador CONAVE. (2013). 20 años de recorrido contribuyendo a la seguridad alimentaria del país. www.conave.org. Ecuador.

Delgado, M., Miralles de Imperial, R., Masaguer, A., Sánchez, M., y Valero, J. (2016). Estudio de turbas y residuos avícolas procedentes de pollo de engorde como componente de sustratos de cultivo. Revista internacional de contaminación ambiental, 32(4), 455-462.

Díaz, B. (2001). Estado del arte sobre el tratamiento biológico para los residuales de Punta Periquillo II. Digestión Anaerobia. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, XXIII(1), 34-38

Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de investigación, 2 (1), 43 - 48.

Fernández, G. B. (2016). Valoración energética del residuo avícola, impacto económico-ambiental y análisis experimental en Europa de la reducción de amoniaco en explotaciones avícolas mediante compuesto enzimático (Tesis Doctoral). Universidad de Oviedo, España: 197pp.

Flotats, X., y Solé, F. (2008). Situación actual en el tratamiento de los residuos orgánicos: aspectos científicos, económicos y legislativos. Compostaje , 43.

Flotats, X., Campos, E., y Bonmatí, A. (1997). Aprovechamiento Energético de Residuos Ganaderos. Curs d'Enginyeria Ambiental: Aprofitament energétic de residus orgánics, 1-21.

García, Y., Ortiz, A. y Lon Wo, E. (2016). Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Instituto de ciencia animal. Cuba. Recuperado el 9 de mayo de 2018, de http://www.fertilizando.com/articulos/Efecto%20Residuales%20Avicolas%20Ambiente.asp

Garzón, M., y Valencia, S. (2011). Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador: 140pp.

Gómez, E. (2012). Estudio de Gestión Ambiental para la Empresa Avícola Agrícola Mercantil del Cauca – AGRICCA S.A (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia: 173pp.

González, G., Rustrián, E., Houbron, E., y Zamora, A. (2008). Impacto de la tasa de humedad en la biodegradación de los residuos. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 4 (3), 336-341.

Hansen, K., Angelidaki, I., y Ahring, B. (1998). Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. Water Research, 32(1), 5-12.

Herrero, M., y Gil, S. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecología Austral, 18(3), 273-289.

Holliguer et al. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. Water Science & Technology, 74(11), 2515-2522

Hy-Line. (2016). Guía de manejo ponedoras comerciales Hy-Line brown. www.hyline.com. 1-44.

Inca, J. (2016). Diseño de un biodigestor para la obtención de biogás a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola "Bilbao" en la parroquia Cotaló – Pelileo. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador: 107pp.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC (2012). Encuesta de superficie y producción agropecuaria. Ecuador en cifras.gob.ec. Ecuador. 1-64.

Leonardi, E. (2013) Mejores técnicas disponibles en la gestión ambiental de residuos de la producción intensiva de aves. Revista Sns, 1(1), 37-46.

Li, Y., Liu, C., Wachemo, A. C., Yuan, H., Zou, D., Liu, Y., & Li, X. (2017). Serial completely stirred tank reactors for improving biogas production and substance degradation during anaerobic digestion of corn stover. Bioresource technology, 235, 380-388.

Limaico, S. (2018).Estudio cinético de la producción de biogás en biodigestores tubulares con soporte móvil reciclado y alimentados con residuos líquidos procedentes de camales (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador: 177pp.

Lorenzo, Y., y Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos técnicos. Parte 1. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar, XXXIX. (1), 35 - 48.

Marín, J., Castro, L. y Escalante, H. (2015). Efecto de la carga orgánica de la gallinaza de jaula en el potencial de biometanización. Revista Colombiana de Biotecnología, XVII (1), 18-23.

Montalvo, S. y Guerrero, L. (2003). Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de biogás. Universidad Técnica Santa María, Valparaíso, Chile. 413 pp.

Mullo, I. (2012). Manejo y procesamiento de la gallinaza (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Chimborazo, Ecuador: 79pp.

Muñoz, S. (2014). Formulación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) en la industria avícola "estudio de caso: Granja de Aves Ponedoras" (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia: 35pp.

NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985. (1992). Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Método de cuarteo. Centro de calidad ambiental. UNINET.

Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. Tecnura, 16(34), 142-156.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2018). FAOSTAT. Recuperado el 3 de mayo de 2018, de http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA/visualize

Ortega, N. (2006). Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. Universal-Publishers. Florida, USA. Dissertation.com. 1-50.

Ortez, D. y Zelanda, Y. (2010). Evaluación del potencial energético de desechos sólidos de granjas de engorde avícolas en El Salvador. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador: 171pp.

Ortiz, G., Villamar, C. A., y Vidal, G. (2014). Odor from anaerobic digestion of swine slurry: influence of pH, temperature and organic loading. Scientia Agricola, 71(6), 443-450.

Palacios, O. (2016). Evaluación de un sistema discontinuo de biodigestión anaerobia para el tratamiento de desechos avícolas. Revista de la Facultad de Ingeniería, 20(4), 1-15.

Pérez, A y Torres, P. (2008). Índices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. Ingeniería y Competitividad,10(2), 41–52.

Perez, J., y Pratt, L. (1997). Análisis de sostenibilidad de la industria avícola en Guatemala. CLACDS (Centro Latinoamericano para la Competitividad y Desarrollo Sostenible), Costa Rica. 1-23.

Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema Energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, (7), 54-73.

Reardon, J., Lilley, A., Browne, K., Beard, K., Wimberly, J., y Avens, J. (2001). Demonstration of a Small Modular Biopower System Using Poultry Litter. Final Report submitted to the Department of Energy. Community Power Corporation. USA. 1-48.

Riera, N., Della Torre, V., Rizzo, P., Butti, M., Bressan, F., Zarate, N., y Crespo, D. (2014). Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 46(1), 195-203.

Rosenwinkel, K., y Meyer, H. (1999). Anaerobic treatment of slaughterhouse residues in municipal digesters. Water Science and Technology, 40(1), 101-111.

Sarabia, M., Laines, J., Sosa, J., y Escalante, E. (2016). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33(1), 109-116.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. BioTecnología, 16(2), 14-46.

Sosa, R., Chao, R., y Del Río, J. (1999). Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás. Habana, Cuba. Revista computarizada de producción porcina, 6 (2), 5-19.

Union Europea. (2009). Guía de la producción limpia para el sector de matadero y transformación de carne avícola de la comunidad Valenciana. Fondo Europeo de desarrollo regional, 1-120.

Varnero, M. (2011). Manual de biogás. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Chile. 1-119.

Vera, I., Estrada, M., Martínez, J. y Ortiz, A. (2013). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. Ingeniería Investigación y Tecnología, 15 (3), 429-436.

Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S., y Banks, C. (2009). Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes. Bioresource Technology, 100(24), 6339-6346.

Warnars, L. y Oppenoorth, H. (2014). El biol, el fertilizante supremo. Estudio sobre el biol, sus usos y resultados. Editorial Hivos.1-23.

Williams, C. (2013). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. Características de la gallinaza de las aves de corral. 1-5.

Yepes, S., Montoya, L. y Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales–frutas–en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellìn, 61(1), 4422-4431.

Yoon, Y., Kim, S., Oh, S., y Kim, C. (2014). Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. Waste Management, 34(1), 204-209.

Zagal, E. y Sadzawka, A. (2007). Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos. Universidad de Concepción, Chillán, Chile. 1-103.

ANEXOS

ANEXO I INFORME DE ANÁLISIS INICIAL DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO CESTTA

CESTTA
SGC

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-049-18
ST:	07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO:	2018/01/29 – 10:30
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-049-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M1 pollinaza
PUNTO DE MUESTREO:	Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	2908,75	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	1673,00	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	2,68	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TECNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLOGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-16

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½. ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: F-050-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-050-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M2 pollinaza
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	7080,50	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	2218,69	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	2,85	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TECNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLOGICA AMBIENTAL CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No: F-051-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:45
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-051-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M3 visceras
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	2668,78	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	0,00	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	5,55	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TECNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLOGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No: F-052-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-052-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M4 mezcla 50/25/25
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	5152,95	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	1981,91	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	3,37	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TECNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLOGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No: F-053-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-053-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M5 mezcla 25/50/25
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	5278,09	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	1885,03	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	3,47	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TECNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLOGICA AMBIENTAL CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No: F-054-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-054-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M6 mezcla 25/25/50
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	2615,09	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	0,00	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	4,30	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No:	F-055-18
ST:	07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección:	Km6 Via Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO:	2018/01/29 – 10:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-055-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M7 mezcla 33/33/33.
PUNTO DE MUESTREO:	Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	4528,00	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	917,06	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	4,03	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No: F-056-18
ST: 07– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario NA
Atn. Salomón Ivan Chavez Zúñiga
Dirección: Km6 Vía Puyo
Baños-Tungurahua

FECHA: 08 de Febrero del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2018/01/29 – 16:30
FECHA DE MUESTREO: 2018/01/29 – 10:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2018/01 /29 – 2018/02/08
TIPO DE MUESTRA: Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA: LAB-F-056-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M8 mezcla empresa.
PUNTO DE MUESTREO: Granja avícola
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	6589,79	-
Alcalinidad fenoltaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	1874,34	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	2,46	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Visceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

ANEXO II REGISTRO DE PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS

	Producción diaria de biogás mL/dia							
Tiempo (días)	**M01**	**M02**	**M03**	**M04**	**M05**	**M06**	**M07**	**M08**
1	11	8	6	5	2	0	12	0
3	30	39	52	37	7	4	28	42
4	20	28	30	18	18	12	28	23
5	19	21	30	11	18	11	17	21
6	21	11	30	3	9	11	19	11
7	26	19	25	8	22	9	18	18
8	19	17	39	19	14	13	17	16
10	15	10	44	27	24	24	13	19
11	25	19	40	13	13	17	16	16
12	14	15	35	6	11	10	10	13
13	21	16	51	6	22	14	10	17
17	109	73	202	5	27	5	8	76
20	161	109	99	6	46	4	7	99
24	199	146	113	6	100	13	5	110
28	213	128	116	9	122	38	26	118
32	112	114	58	14	158	64	19	144
35	81	33	38	17	134	58	13	155
39	95	39	11	0	255	150	44	228
42	39	30	8	11	161	153	60	173
48	98	39	16	0	173	216	116	287
52	41	15	11	4	158	117	107	247
55	16	15	11	0	82	121	90	79
59	27	11	17	8	85	265	145	170
62	27	11	14	3	71	141	55	215
66	17	0	3	0	54	112	58	167
69	8	1	5	0	40	84	70	75
74	32	16	28	8	60	120	130	65
80	42	51	23	31	54	28	89	39
83	17	11	11	11	22	30	56	28
87	19	9	11	9	22	22	46	20
90	16	9	11	25	22	24	43	14
95	24	14	17	90	32	38	47	19
98	19	2	14	74	34	25	34	27
101	11	3	6	48	24	14	30	21
104	16	7	10	63	22	14	41	8
109	14	23	11	36	33	21	33	13
112	10	9	8	29	22	14	24	14
116	3	2	0	9	0	6	5	1
119	0	3	2	8	0	0	2	2

ANEXO III INFORME DE ANÁLISIS FINAL DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO CESTTA

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

PANAMERICANA SUR KM. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Tel/fax. (03) 2013103

INFORME DE ENSAYO No:	F-063-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 13:40
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-063-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M2 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx. 25.0 °C, T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	28100	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,37	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CESTTA
SGC

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-062-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km 6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 13:30
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07/23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-062-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M1 Muestra líquida digestada a partir de residuos avícolas
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	32500	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,50	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recepcionada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CESTTA
SGC

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½. ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-064-18
ST:	012 – 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 13:50
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-064-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M3 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.: 25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4.3)	Volumetría	mg/Kg	13000	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0.27	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

CESTTA
SGC

INFORME DE ENSAYO No:	F-065-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 14:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-065-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M4 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx. 25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	16500	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,74	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recepitada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca)

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½. ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-066-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 14:10
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-066-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M5 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	23000	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,50	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CESTTA
SGC

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-067-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 14:20
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-067-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M6 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (*)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	25400	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5,7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,49	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (esuretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-068-18
ST:	012- 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 14:30
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07 /23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-068-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M7 Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C, T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (■)
Alcalinidad total (pH 4.3)	Volumetría	mg/Kg	7300	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0.48	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

CESTTA
SGC

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:	F-069-18
ST:	012– 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Atn.	Salomón Iván Chávez Zúñiga
Dirección:	Km6 Vía Puyo Baños-Tungurahua
FECHA:	02 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/07/23 – 15:00
FECHA DE MUESTREO:	2018/07/17 – 14:40
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/07/23 – 2018/08/02
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-069-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M8
	Muestra líquida digestada a partir de residuos
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Politécnica Nacional
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Gabriela Barrera.
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (*)
Alcalinidad total (pH 4,3)	Volumetría	mg/Kg	18800	-
Alcalinidad fenoftaleínica o intermedia (pH 5.7)	Volumetría	mg/Kg	<10	-
Nitrógeno Total Kjeldhal	Kjeldhal	%	0,43	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recepcada en laboratorio.
- Abono orgánico. Combinaciones de Gallinaza, Pollinaza y Vísceras e Inóculo (excretas de vaca)).

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL
CESTTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

ANEXO IV REGISTRO DE PRODUCCIÓN ESPECÍFICA DIARIA DE BIOGÁS

	Producción específica diaria de biogás (mL)/g SV día							
Tiempo (días)	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08
1	2.60	2.48	1.39	0.91	0.34	0.00	1.97	0.00
3	7.21	11.41	12.34	6.65	1.37	0.90	4.78	5.50
4	4.79	8.41	7.14	3.31	3.74	2.50	4.76	3.07
5	4.52	6.34	7.19	1.93	3.59	2.29	2.86	2.77
6	4.99	3.18	7.06	0.46	1.93	2.43	3.13	1.49
7	6.10	5.50	5.99	1.48	4.43	1.82	3.01	2.40
8	4.44	5.13	9.29	3.41	2.95	2.83	2.80	2.15
10	3.70	3.11	10.52	4.85	4.96	5.07	2.18	2.49
11	5.97	5.62	9.39	2.28	2.58	3.72	2.76	2.08
12	3.40	4.31	8.26	1.14	2.25	2.16	1.75	1.66
13	4.91	4.68	12.02	1.14	4.51	3.04	1.64	2.28
17	26.07	21.53	48.08	0.86	5.47	1.01	1.33	9.96
20	38.42	32.19	23.59	1.14	9.39	0.94	1.16	13.03
24	47.54	43.34	26.84	1.03	20.42	2.72	0.85	14.41
28	51.01	37.91	27.64	1.71	24.79	8.11	4.35	15.48
32	26.83	33.70	13.90	2.57	32.20	13.73	3.18	18.89
35	19.27	9.83	9.01	3.02	27.37	12.51	2.12	20.34
39	22.60	11.66	2.62	0.00	51.99	32.02	7.40	30.00
42	9.42	8.86	1.87	1.99	32.74	32.69	10.05	22.76
48	23.35	11.66	3.74	0.00	35.30	46.17	19.41	37.65
52	9.82	4.40	2.63	0.68	32.20	25.02	18.04	32.38
55	3.85	4.29	2.68	0.00	16.74	25.99	15.15	10.37
59	6.40	3.27	4.12	1.42	17.33	56.62	24.33	22.34
62	6.35	3.28	3.38	0.57	14.49	30.09	9.28	28.23
66	4.16	0.00	0.75	0.00	10.95	24.00	9.82	22.00
69	1.90	0.19	1.29	0.00	8.10	18.03	11.75	9.82
74	7.58	4.70	6.63	1.43	12.27	25.78	21.82	8.54
80	10.04	15.20	5.54	5.61	11.09	5.99	14.88	5.11
83	4.10	3.23	2.60	1.97	4.45	6.34	9.43	3.69
87	4.52	2.80	2.70	1.70	4.49	4.72	7.67	2.69
90	3.78	2.53	2.63	4.56	4.51	5.21	7.16	1.78
95	5.65	4.20	4.12	16.20	6.42	8.09	7.93	2.48
98	4.49	0.65	3.35	13.27	7.02	5.36	5.78	3.49
101	2.64	0.94	1.50	8.67	4.83	3.04	5.04	2.70
104	3.78	1.97	2.33	11.40	4.51	3.04	6.90	1.04
109	3.41	6.76	2.64	6.58	6.78	4.41	5.59	1.67
112	2.42	2.71	1.95	5.25	4.51	3.04	3.98	1.87
116	0.76	0.47	0.08	1.71	0.00	1.35	0.90	0.17
119	0.00	0.96	0.46	1.46	0.00	0.00	0.27	0.30

ANEXO V ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	*Cuenta*	*Suma*	*Promedio*	*Varianza*
M 01	39	402.7988237	10.32817497	154.6482
M 02	39	333.3819666	8.548255555	114.6649
M03	39	299.263537	7.673424025	89.01429
M04	39	122.3481137	3.13713112	13.95403
M05	39	442.9995405	11.35896258	147.0739
M06	39	432.7966156	11.09734912	188.7421
M07	39	267.2225664	6.851860676	37.43352
M08	39	369.0695743	9.463322417	107.7947

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	2001.71829	7	285.9597557	2.680897	0.0104532	2.039755
Dentro de los grup	32426.37716	304	106.6657143			
Total	34428.09545	311				

PRUEBA DE TUKEY

SIGNIFICADO

dif. Honestamente significativa	**HSD**	7.095
valor en la tabla de Tukey	**Estadistico Q**	4.29
cuadrado medio del error	**MSE**	106.665714
tamaño de muestra	**n**	39

CONDICION Si |Xi-Xj| ≥ HSD si existe diferencia estadisticamente significativa

MEDIA DE CADA MUESTRA	
M 01	10.328
M 02	8.548
M03	7.673
M04	3.137
M05	11.359
M06	11.097
M07	6.852
M08	9.463

TABLA DE COMPARACION PRUEBA DE TUKEY

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08
M01		1.780	2.655	7.191	-1.031	-0.769	3.476	0.865
M02	-1.780		0.875	5.411	-2.811	-2.549	1.696	-0.915
M03	-2.655	-0.875		4.536	-3.686	-3.424	0.822	-1.790
M04	-7.191	-5.411	-4.536		-8.222	-7.960	-3.715	-6.326
M05	1.031	2.811	3.686	8.222		0.262	4.507	1.896
M06	0.769	2.549	3.424	7.960	-0.262		4.245	1.634
M07	-3.476	-1.696	-0.822	3.715	-4.507	-4.245		-2.611
M08	-0.865	0.915	1.790	6.326	-1.896	-1.634	2.611	

ANEXO VI REGISTRO PRODUCCIÓN ACUMULADA ESPECÍFICA DE BIOGÁS

	Volumen acumulado de biogás (L)/g SV							
Tiempo (días)	**M01**	**M02**	**M03**	**M04**	**M05**	**M06**	**M07**	**M08**
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
4	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
5	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
7	0.03	0.04	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
8	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
10	0.04	0.05	0.06	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
11	0.04	0.05	0.07	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
12	0.05	0.06	0.08	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
13	0.05	0.06	0.09	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
17	0.08	0.08	0.14	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
20	0.12	0.11	0.16	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05
24	0.16	0.16	0.19	0.03	0.07	0.03	0.03	0.06
28	0.22	0.20	0.22	0.03	0.09	0.04	0.04	0.08
32	0.24	0.23	0.23	0.03	0.12	0.05	0.04	0.10
35	0.26	0.24	0.24	0.04	0.15	0.07	0.04	0.12
39	0.28	0.25	0.24	0.04	0.20	0.10	0.05	0.15
42	0.29	0.26	0.24	0.04	0.24	0.13	0.06	0.17
48	0.32	0.27	0.25	0.04	0.27	0.18	0.08	0.21
52	0.33	0.28	0.25	0.04	0.30	0.20	0.10	0.24
55	0.33	0.28	0.25	0.04	0.32	0.23	0.11	0.25
59	0.34	0.28	0.26	0.04	0.34	0.28	0.14	0.27
62	0.34	0.29	0.26	0.04	0.35	0.31	0.15	0.30
66	0.35	0.29	0.26	0.04	0.36	0.34	0.16	0.32
69	0.35	0.29	0.26	0.04	0.37	0.36	0.17	0.33
74	0.36	0.29	0.27	0.04	0.38	0.38	0.19	0.34
80	0.37	0.31	0.27	0.05	0.40	0.39	0.21	0.35
83	0.37	0.31	0.28	0.05	0.40	0.39	0.22	0.35
87	0.38	0.31	0.28	0.05	0.40	0.40	0.22	0.35
90	0.38	0.31	0.28	0.06	0.41	0.40	0.23	0.36
95	0.39	0.32	0.29	0.07	0.42	0.41	0.24	0.36
98	0.39	0.32	0.29	0.09	0.42	0.42	0.24	0.36
101	0.39	0.32	0.29	0.10	0.43	0.42	0.25	0.36
104	0.40	0.32	0.29	0.11	0.43	0.42	0.26	0.37
109	0.40	0.33	0.30	0.11	0.44	0.43	0.26	0.37
112	0.40	0.33	0.30	0.12	0.44	0.43	0.27	0.37
116	0.40	0.33	0.30	0.12	0.44	0.43	0.27	0.37
119	0.40	0.33	0.30	0.12	0.44	0.43	0.27	0.37

ANEXO VII ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN

- XXXVI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL "En vía al desarrollo sostenible"

INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS AVÍCOLAS A PARTIR DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Manobanda, M.F., Barrera, G.A, Villamar, C.A.*

Esc. Politécnica Nacional (Quito, Ecuador), Esc. Politécnica Nacional (Quito, Ecuador), Universidad Santiago de Chile
cristina.villamar@usach.cl*

PRODUCCIÓN DE POLLO EN LATINOAMÉRICA

Introducción

INCLUSIÓN

Modelo Experimental

Resultados y discusión

La figura 1 muestra la Relación C/N de las muestras estudiadas, a su vez, se observa que la mezcla de residuos mejora la relación C/N.

Tabla 1: Relación C/N de las mezclas estudiadas

En la Tabla 2 se observa la producción acumulada de biogás. Las mezclas con mayor producción de biogás fueron M05, M08 y M01, correspondientes a las mezclas que contienen los tres residuos GA, PO y VI con una mayor proporción (50%) de GA, PO y GA en cada mezcla, respectivamente.

La menor producción de biogás con respecto a las demás, se observó en las muestras que contienen residuos intestinales (VI) sobre el 50% en su composición.

Tabla 2: Producción acumulada de biogás (Lg SV añadido) para cada una de las mezclas

Id.	Mezcla de Residuos GA : PO : VI (% v/v)	Producción Acumulada de biogás (L / g SV) Media	Rango
M01	50:34 : 49:40 : 0:56	0,403	0,329 - 0,477
M02	100 : 0 : 0	0,333	0,331 - 0,336
M03	0 : 100 : 0	0,299	0,299 - 0,3
M04	0 : 0 : 100	0,122	0,051 - 0,194
M05	50 : 25 : 25	0,443	0,397 - 0,489
M06	25 : 50 : 25	0,433	0,379 - 0,486
M07	25 : 25 : 50	0,267	0,19 - 0,345
M08	33,3 : 33,3 : 33,3	0,368	0,29 - 0,447

Conclusiones

La relación C/N en los residuos independientes no se encuentran en los rangos óptimos para Digestión Anaerobia (DA), la mezcla de ellos mejora este parámetro acercándolos a los valores bibliográficos para DA.

La mayor producción de biogás fue de las muestras correspondientes a mezclas de los tres residuos (GA:PO:VI) principalmente las excretas, así M05 (50:25:25) con valores de 0,44 L $_{biogás}$/g $SV_{alimentado}$ y M06 (25:50:25) con valores de 0,43 L $_{biogás}$/g $SV_{alimentado}$. La producción de biogás obtuvo valores entre 0,12 a 0,44 L $_{biogás}$/g $SV_{alimentado}$.

Finalmente, la mezcla de residuos mejora considerablemente la producción de biogás como en el caso de los ensayos M05 y M06.

Bibliografía

APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ed21st edition. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.

Auria R., Prens G., Morales M., Arcuña M.E. and Revah S. (2000) Influence of mixing and water addition on the removal rate of toluene vapors in a biofilter. *Biotechnology and Bioengineering*, 82(4), 440-455.

Cooper P.F. (2001) Historical aspects of wastewater treatment, en *Decentralized Sanitation and Reuse*, Lens P., Zeeman G. y Lettinga G. editores. IWA Publishing, London, 11-32.

Yoon, Y., Kim, S., Oh, S., Kim, C. (2014). Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. Waste Management, 34(1), 204-209.

XXXVI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

"En vía al desarrollo sostenible"

La Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS

Otorga el Presente

RECONOCIMIENTO

A:

CRISTINA ALEJANDRA VILLAMAR AYALA, MANOBANDA MARÍA FERNANDA, BARRERA GABRIELA.

Por el Trabajo Presentado

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS AVÍCOLAS A PARTIR DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.

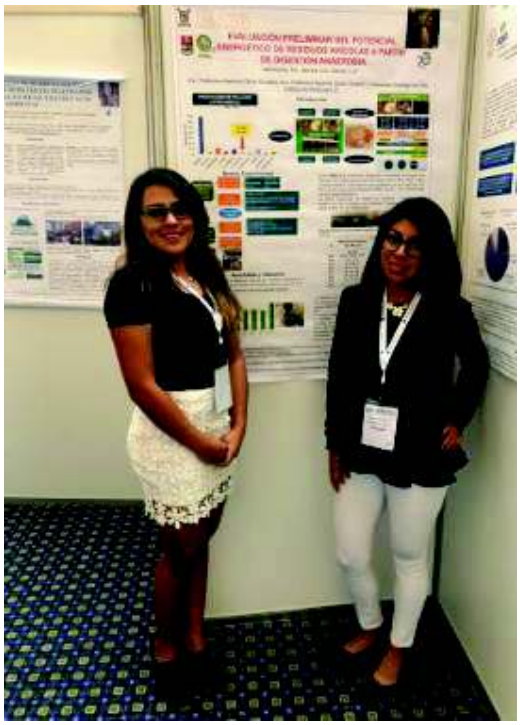
En el XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental "En vía al Desarrollo Sostenible"

Guayaquil, Ecuador del 28 al 31 de Octubre de 2018

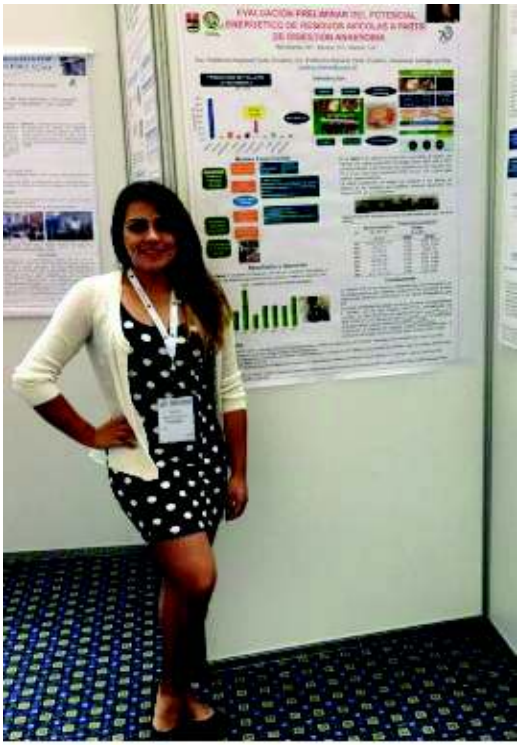
Dra. Pilar Tello E.
Presidenta AIDIS

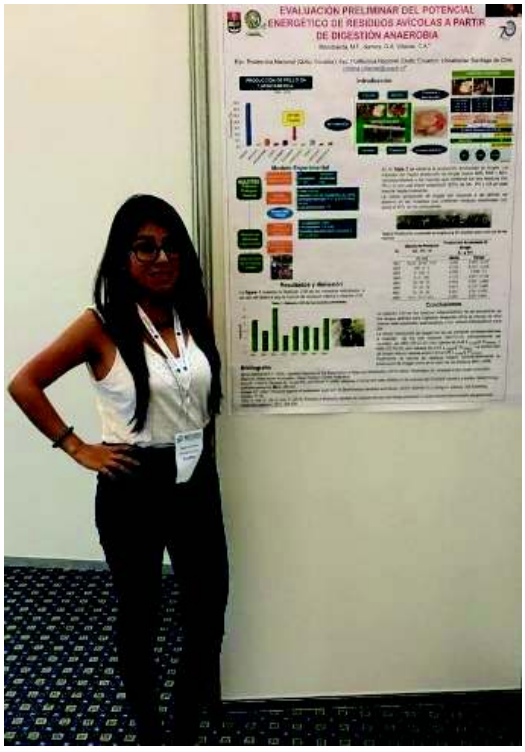
Mg. Walter Bajaña Loor
Presidente AEISA

Nelson Olaya, M. Sc.
Dir. Gral. Del XXXVI Congreso AIDIS



26




EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL
ENERGÉTICO DE RESIDUOS AVÍCOLAS A PARTIR
DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

➢ XIII Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia (DAAL XIII)

XIII Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia
"Una alternativa de innovación energética, ambiental y social"
Del 21 al 24 de octubre de 2018. Medellín, Colombia.

IWA
The International Water Association

Medellín, 24 de octubre de 2018

EL COMITÉ CIENTÍFICO HACE CONSTAR QUE:

G.A. Barrera, M.F. Manobanda and C.A. Villamar presentaron su trabajo en modalidad de Póster en el **XIII Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia – DAAL XIII**, realizado entre el 21 y el 24 de octubre de 2018 en Medellín, Colombia.

Póster: Biogas production from the mixture of poultry industry waste

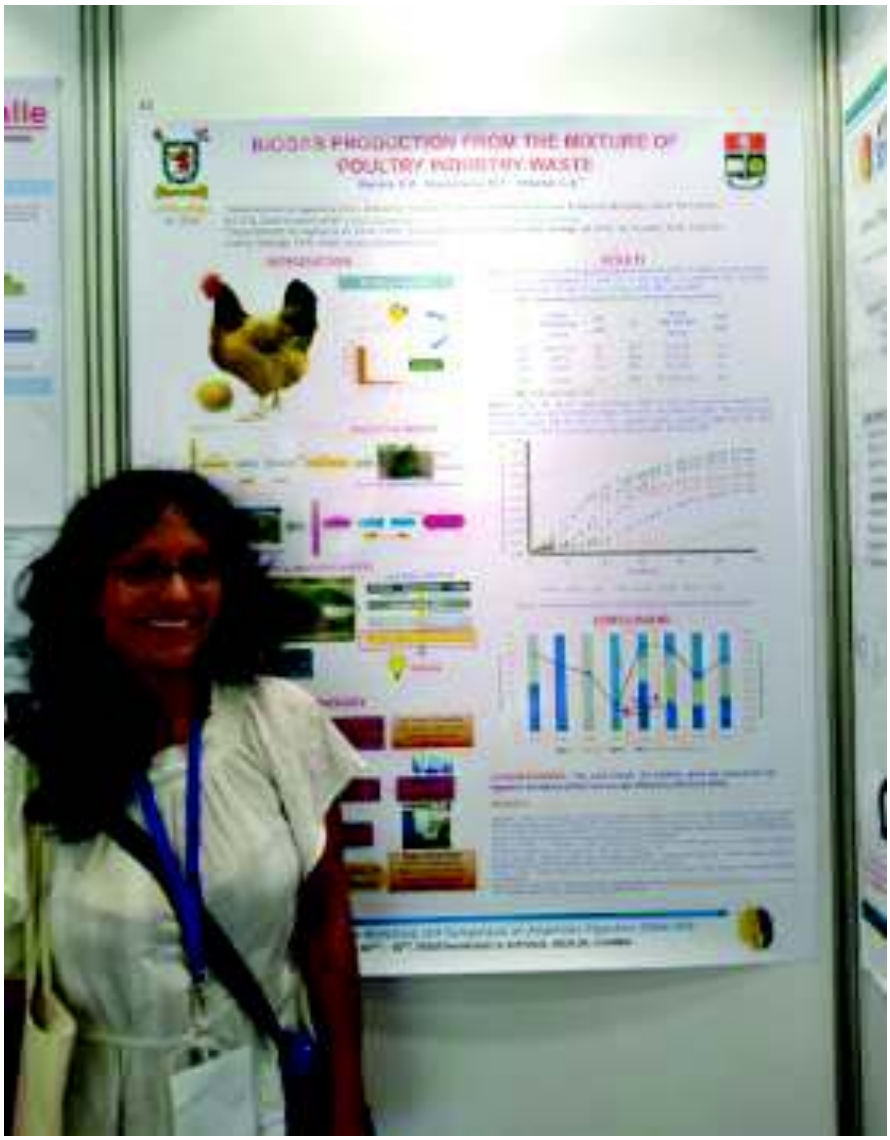
ID: 4056511

Diana Catalina Rodriguez L.

FRANCISCO MOLINA PÉREZ
Presidente Comité Organizador DAAL XIII

DIANA CATALINA RODRIGUEZ
Coordinadora Comité Científico DAAL XIII

Centro de Extensión Académica, Facultad de Ingeniería. Teléfonos: (57+4) 2195548 – 2195515
E-mail: daal13@udea.edu.co - infodaal13@udea.edu.co | http://ingenieria.udea.edu.co/daal13
Calle 67 N° 53 - 108 Bl. 21 - Of. 104 Medellín - Colombia


BIOGAS PRODUCTION FROM THE MIXTURE OF
POULTRY INDUSTRY WASTE