

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN BIODIGESTORES BATCH A
PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS PRE-TRATADOS CON LA
TÉCNICA DE BOKASHI”**

Presentada por:

DIEGO ANTONY CÓNDROR LÓPEZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN BIODIGESTORES BATCH A
PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS PRE-TRATADOS CON LA
TÉCNICA DE BOKASHI”**

Presentada por:

DIEGO ANTONY CÓNDOR LÓPEZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dra. Rosemary Vela Cardich
PRESIDENTE

Mg. Quím. Elsa Huamán Paredes
MIEMBRO

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe
MIEMBRO

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua
ASESOR

Dr. Víctor Meza Contreras
Co - ASESOR

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Moisés y Dora, quienes fueron mi motivo para realizar esta investigación, siempre hicieron destacar lo mejor de mí, gracias por mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien guía mis pasos, quien me sostiene en la adversidad, quien ilumina mi camino de bien.

A mis padres Moisés y Dora, hermanos Laura y Sthephano, por el apoyo y la motivación que me dieron para poder culminar la presente investigación.

A mi asesor el Ingeniero Lawrence Quipuzco y coasesor el Dr. Víctor Meza, quienes me guiaron desde inicios de la investigación, gracias por todo.

A la Red de biodigestores de América Latina y el Caribe (RedBiolac), por el financiamiento para los análisis de laboratorio, que fueron indispensables para la culminación de la tesis.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), por hacerme participe del proyecto que realizaron en el distrito de Matucana.

Al círculo de investigación en Biogás y Biometano, en especial a mi amigo Percy Salcedo, quien es integrante de esta magnífica agrupación, quien me apoyo incondicionalmente en todo momento.

A mis amigos de la universidad, Álvaro Salcedo, Alex Sánchez, Bryan Rivera, Bryan López, Cristian Abanto, Cristian Cubas, Giancarlos García, José Vela, Katerin Gonzales, Marco Florean y Marlon Palomino quienes siempre confiaron en mí, y me motivaron para la culminación de la tesis.

A Marilyn Villanera por su constante motivación y apoyo que me ayudo a culminar esta investigación.

A la Familia Melo, quienes fueron los beneficiarios del proyecto del IICA en Matucana, gracias por su apoyo durante la etapa de campo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Distrito de Matucana	3
2.2 Residuos Sólidos	4
2.2.1 Residuo Agropecuario	5
2.3 Estiércol	5
2.4 Bokashi	5
2.4.1 Bokashi tradicional	6
2.4.2 MB-bokashi	6
2.5 Microorganismos benéficos (MB) y microorganismos efectivos (EM).....	7
2.5.1 Microorganismos benéficos (MB).....	7
2.5.2 Microorganismos efectivos (EM).....	9
2.5.3 Beneficios	10
2.6 Digestión anaerobia	10
2.6.1 Fases del proceso de digestión anaerobia	11
2.6.2 Factores que condicionan la producción de biogás	13
2.7 Biodigestores	19
2.7.1 Principales digestores en medio rural	20
2.8 Biogás	23
2.8.1 Aplicaciones del biogás	26
2.9 Biofertilizante	29

2.9.1 Biol	29
2.9.2 Biosol.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Ubicación.....	31
3.2 Materiales	32
3.3 Procedimiento metodológico.....	33
3.3.1 Recolección de la materia prima	33
3.3.2 Análisis de estiércol vacuno, cartucho y agua.....	34
3.3.3 Producción de microorganismos benéficos	36
3.3.4 Pretratamiento con la técnica de bokashi	38
3.3.5 Carga de los biodigestores batch	43
3.3.6 Levantamiento de datos y toma de muestras de los biodigestores batch.....	45
3.4.7 Fase de campo - biodigestor tubular.....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 Resultados del análisis de estiércol vacuno, cartucho y agua.....	50
4.2 Resultados de la elaboración de microorganismos benéficos (MB).....	52
4.3. Resultados de la medición de pH y acidez láctica de los abonos bokashi	55
4.3.1 Pretratamiento 1.....	55
4.3.2 Pretratamiento 2.....	58
4.4 Cargado a los biodigestores batch	61
4.4.1 Porcentajes de humedad y solidos totales del estiércol.	61
4.4.2 Cálculo de la carga de los biodigestores.....	63
4.5 Resultados del volumen de biogás y metano de los biodigestores batch.	64
4.5.1 Comportamiento del pH y la temperatura	65
4.5.2 Volumen de metano producido	65

4.5.3 Volumen de biogás producido.....	71
4.5.4 Calidad de biogás	78
4.6 Análisis de la calidad del biol.....	80
4.6.1 Composición química del biol.....	80
4.7 Resultados de la implementación del mejor tratamiento a escala real.....	83
V. CONCLUSIONES.....	96
VI. RECOMENDACIONES	98
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
VIII. ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los residuos sólidos.....	4
Tabla 2: Materiales para la elaboración de bokashi.	6
Tabla 3: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.....	14
Tabla 4: Relación Carbono/ Nitrógeno de los principales sustratos utilizados.....	15
Tabla 5: Concentración inhibidora de inhibidores comunes.	18
Tabla 6: Composición típica del biogás.	24
Tabla 7: Propiedades del biogás.	25
Tabla 8: Componentes del biogás y sus efectos.	25
Tabla 9: Beneficios del biosol.	30
Tabla 10: Actividades de investigación.....	32
Tabla 11: Métodos del pretratamiento 1.....	39
Tabla 12: Métodos del pretratamiento 2.....	39
Tabla 13:Tipos de mezclas.	44
Tabla 14: Relación carbono/nitrógeno del estiércol vacuno y cartucho.....	50
Tabla 15: Resultados del análisis de agua.	51
Tabla 16: Resultados del conteo de microorganismos benéficos.	54
Tabla 17: Comparación de la composición de bacterias ácido lácticas.....	54
Tabla 18: Medición de acidez láctica y pH en el pretratamiento 1.	56
Tabla 19: Medición de acidez láctica y pH – pretratamiento 2.....	58
Tabla 20: Comparación de acidez láctica con otras investigaciones.....	60
Tabla 21: Datos para calcular la humedad del estiércol.....	61
Tabla 22: Datos para el cálculo de solidos totales y volátiles.	62
Tabla 23: Porcentajes de humedad y de materia seca.	63
Tabla 24: Volumen promedio semanal de metano.	66
Tabla 25: Comparación de la producción de metano expresado en ml/ g ST y m ³ /Kg ST.	70
Tabla 26: Volumen promedio semanal de biogás.	72
Tabla 27: Comparación de la producción de biogás expresado en ml/ g ST y m ³ /Kg ST.	76
Tabla 28: Calidad de biogás (metano/biogás) %.	78
Tabla 29: Composición química del biol.....	81
Tabla 30: Comparación de la calidad de biol obtenido con otras investigaciones.	83

Tabla 31: Análisis de nutrientes del biol en la fase de campo.....	93
Tabla 32: Parámetros microbiológicos del biol en la fase de campo.	94
Tabla 33: Resultado de la remoción de los parámetros microbiológicos.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de digestión anaerobia.	13
Figura 2: Biodigestor tipo chino.	21
Figura 3: Biodigestor tipo indiano.	22
Figura 4: Biodigestor tipo horizontal.	23
Figura 5: Test de degradación para metano.	27
Figura 6: Test de degradación para biogás.	28
Figura 7: Biodigestor tubular instalado en el anexo de Soca – Matucana.	31
Figura 8: Preparación de microorganismos benéficos.	37
Figura 9: Recolección de estiércol.	38
Figura 10: Elaboración del pretratamiento tipo abono bokashi.	40
Figura 11: Medición de pH de los pretratamientos.	41
Figura 12: Medición del porcentaje de acidez titulable.	42
Figura 13: Cargado de los reactores en baño maría.	45
Figura 14: Recolección de muestras de biol en frascos de prime uso.	47
Figura 15: Comportamiento del pH de los microorganismos benéficos.	53
Figura 16: Promedio de acidez láctica de los métodos aplicados – pretratamiento 1.	57
Figura 17: Promedio de acidez láctica de los métodos aplicados – pretratamiento 2.	59
Figura 18: Volumen promedio de metano a CN.	67
Figura 19: Volumen diario acumulado de metano a CN.	69
Figura 20: Volumen promedio por semana de biogás.	73
Figura 21: Volumen acumulado diario de biogás a CN.	75
Figura 22: Calidad de biogás (%CH ₄).	79
Figura 23: Medición de biogás en campo.	84
Figura 24: Estiércol pretratado listo para encalar.	85
Figura 25: Porcentaje de metano.	86
Figura 26: Porcentaje de dióxido de carbono.	87
Figura 27: Partes por millón (ppm) del sulfuro de hidrógeno.	88
Figura 28: Partes por millón (ppm) del monóxido de carbono.	89
Figura 29: Porcentaje de oxígeno.	90

Figura 30: Promedio por fase de metano, dióxido de carbono y oxígeno.....	91
Figura 31: Promedio por fase de sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono.	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Relación C/N del estiércol.	106
Anexo 2: Relación C/N del cartucho.	107
Anexo 3: Análisis de agua.	108
Anexo 4: Comportamiento del pH y CE de los microorganismos benéficos.	109
Anexo 5: Conteo de microorganismos benéficos	111
Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) del pretratamiento 1.	112
Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) del pretratamiento 2.	114
Anexo 8: Volumen diario de metano producido a condiciones normales.	118
Anexo 9: Volumen semanal de metano.	119
Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de producción de metano.	120
Anexo 11: Volumen de biogás producido a condiciones normales.	122
Anexo 12: Volumen de biogás analizados semanalmente.	123
Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para la producción de biogás.	124
Anexo 14: Calidad del biogás (metano/biogás) %.	126
Anexo 15: Análisis de Varianza (ANOVA) de la calidad de biogás.	127
Anexo 16: Análisis de nutrientes del biol luego de la digestión anaerobia.	128
Anexo 17: Análisis de Coeficiente de variabilidad de nutrientes del biol.	132
Anexo 18: Análisis de Varianza (ANOVA) para resultados de los nutrientes del biol.	134
Anexo 19: Análisis de los componentes del biogás del biodigestor tubular.	144
Anexo 20: Análisis del coeficiente de variabilidad de los componentes del biogás.	146
Anexo 21: Análisis de nutrientes del biol de la fase 1.	147
Anexo 22: Análisis de nutrientes del biol de la fase 2.	148
Anexo 23: Parámetros microbiológicos del biol - fase 1 antes de la fermentación.	149
Anexo 24: Parámetros microbiológicos del biol - Fase 2 antes de la fermentación.	150
Anexo 25: Parámetros microbiológicos del biol - fase 2 después de la fermentación.	151

RESUMEN

La presente investigación surge como una opción de mejora al tratamiento de los residuos de animales de granja y residuos florícolas que se presentan en el anexo de Soca, Distrito de Matucana, Región Lima, cuya finalidad fue aumentar la calidad de biogás y biol en un digestor batch al realizarle un pretratamiento al sustrato que ingresa al biodigestor a través de la técnica del bokashi. La investigación se realizó en tres etapas: la primera etapa fue la producción de microorganismos benéficos (MB) y el pretratamiento tipo abono bokashi al sustrato que ingresa al biodigestor, primeramente, se produjeron MB y se evaluó el pH llegando a registrar un valor de 3.6 unidades de pH. Luego se dio la realización del pretratamiento de dos formas, la primera fue el pretratamiento al estiércol con MB y la segunda fue a la mezcla de estiércol y cartucho con MB. La elección del mejor bokashi de ambos pretratamientos se hizo considerando la mayor acidez láctica, llegando a elegir el pretratamiento que contiene una dosis de MB al 20 por ciento para ambas formas de pretratamiento. En la segunda etapa se hizo el cargado en biodigestores batch y se midió la producción de biogás y metano. Resultando al final que el Tratamiento 2 (bokashi de estiércol con MB al 20 por ciento + Agua) alcanzara el mayor volumen de biogás (9.2 L) y metano (5.8 L) en contraste con el Tratamiento 1 (4,4 L biogás y 2.55 L metano), Tratamiento 3 (5.3 L biogás y 3.25 L metano) y Tratamiento 4 (6.6 L biogás y 3.93 L metano); respecto al biol, se determinó una mayor concentración de macronutrientes para el Tratamiento 2, evidenciando su mejor calidad respecto a los demás. La tercera etapa consistió en escalar el mejor tratamiento obtenido en laboratorio, en un biodigestor tubular de 10 m³, el monitoreo de producción de biogás se hizo en dos fases, llegándose a obtener en la fase final una concentración promedio de 64.2 por ciento de CH₄, 30.1 por ciento de CO₂ y 25.8 ppm de H₂S, así mismo el biol luego del proceso de biodigestión muestra una remoción del 99 por ciento de coliformes fecales y totales, así mismo, se evidenció un incremento en los macronutrientes como lo son el nitrógeno y el fosforo.

Palabras clave: Microorganismos benéficos, abono bokashi, biodigestores, biogás y biol.

SUMMARY

The present investigation arises as an option of improvement to the treatment of the residues of farm animals and floricultural residues that appear in the annex of Soca, District of Matucana, Lima Region, whose purpose was to increase the quality of biogas and biol in a digester batch by pretreating the substrate that enters the biodigester through the bokashi technique. The research was carried out in three stages: the first stage was the production of beneficial microorganisms (MB) and the pretreatment type bokashi fertilizer to the substrate that enters the biodigester, first, MB was produced and the pH was evaluated, reaching a value of 3.6 pH units. Then the pretreatment was carried out in two ways, the first was the pretreatment to the manure with MB and the second was to the mixture of manure and cartridge with MB. The choice of the best bokashi of both pretreatments was made considering the higher lactic acidity, arriving to choose the pretreatment that contains a dose of 20 percent MB for both forms of pretreatment. In the second stage, the batch biodigesters were loaded and the production of biogas and methane was measured. As a result, Treatment 2 (manure bokashi with 20 percent MB + Water) achieved the highest volume of biogas (9.2 L) and methane (5.8 L) in contrast to Treatment 1 (4.4 L biogas and 2.55 L methane), Treatment 3 (5.3 L biogas and 3.25 L methane) and Treatment 4 (6.6 L biogas and 3.93 L methane); Regarding biol, a higher concentration of macronutrients was determined for Treatment 2, showing its better quality compared to the others. The third stage was to scale the best treatment obtained in the laboratory, in a tubular biodigester of 10 m³, the monitoring of biogas production was made in two phases, reaching an average concentration of 64.2 percent of CH₄ in the final phase, 30.1 percent of CO₂ and 25.8 ppm of H₂S, likewise the biol after the biodigestion process shows a 99 percent removal of fecal and total coliforms, as well, as an increase in macronutrients such as nitrogen and phosphorus.

Key words: beneficial microorganisms, bokashi fertilizer, biodigesters, biogas and biol

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos que se desprenden de las diferentes actividades humanas vienen causando impactos perjudiciales para el ambiente por una disposición inadecuada y por la falta de sistemas de tratamiento. Una de las actividades humanas predominantes en el Perú es la agropecuaria, el MINAG (2012) señala que los residuos generados de este sector son los provenientes de las actividades forestales, agrícolas, avícolas, centros de faenamiento de animales y ganaderas, estos residuos al no tener una disposición adecuada constituyen un núcleo para la atracción de moscas, roedores y demás animales que traen consigo microbios que pueden dañar a la salud.

En el distrito de Matucana, Provincia de Huarochirí - Región Lima, Castromonte *et al.*, (2010) mencionan que la actividad económica predominante es la agropecuaria y que los residuos que se desprenden producto de esta actividad no tienen ninguna disposición adecuada siendo una problemática para la zona. Ante ello, el empleo de biodigestores se presenta como una alternativa para reaprovechar los residuos de las actividades agropecuarias.

El biodigestor es una cámara hermética, que se encarga de reducir los sólidos orgánicos y el número de microorganismos patógenos presentes, por medio de la digestión anaerobia y tiene como resultado la obtención de un gas combustible abundante en metano (biogás) y la producción de dos fertilizantes orgánicos denominado biol y biosol (Martí *et al.*, 2016).

Zedláková *et al.* (2017), mencionan que una producción de metano adecuado durante el desarrollo de la digestión anaerobia debe encontrarse en un rango de 50 a 70 por ciento; ya que en ese rango el biogás funciona como combustible, esta producción de metano dependerá del tipo de residuo que se le haya agregado al biodigestor. Así mismo, en la mayoría de los casos el sustrato que ingresa al biodigestor es el estiércol de ganado vacuno y este sustrato presenta una gran cantidad de fibra lignocelulósica, esta fibra impide que se degrade eficientemente el residuo en el biodigestor, siendo uno de los principales problemas en el proceso de digestión anaerobia.

Ante esta problemática, se presenta una alternativa como tratamiento previo antes del llenado del sustrato (estiércol y residuos agrícolas) al biodigestor, los abonos bokashi. Este abono es un compost inoculado con microorganismos benéficos, que metabolizan los residuos, es decir degradan con mayor rapidez la fibra lignocelulósica del residuo (Kyan *et al*, 1999), así mismo, una de las ventajas de este abono es su breve elaboración con la distinción que incorpora en su preparación los microorganismos benéficos, se ha informado por Taherzadeh y Karimi (2008) que el pretratamiento puede aumentar la biodigestibilidad de los residuos para la producción de biogás, debido a esto la investigación se centrará en el pretratamiento del sustrato mediante la técnica del bokashi, el cual consiste en el uso de microorganismos benéficos y se verá los resultados al evaluar el biogás y el biol.

En la presente investigación se trabajó con estiércol de ganado vacuno y con residuo de cartucho, ambos insumos fueron obtenidos de la granja y cultivos de un poblador del distrito de Matucana. La obtención de biol y biogás fueron realizados a escala de laboratorio y el objetivo general fue evaluar la calidad de estos productos luego de haberles realizado un pretratamiento con la técnica de bokashi. Luego, el mejor tratamiento obtenido se reprodujo a escala real, en un biodigestor tubular de 10 m³, ubicado en el anexo de Soca, Distrito de Matucana.

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

- Producir microorganismos benéficos con residuos agropecuarios del distrito de Matucana
- Determinar la cantidad de biogás y metano producido en biodigestores tipo batch a escala de laboratorio.
- Analizar la composición de macronutrientes presentes en el biol.
- Implementar el tratamiento óptimo obtenido a nivel de laboratorio en un biodigestor tubular en el distrito de Matucana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Distrito de Matucana

El distrito de Matucana es uno de los 32 distritos de la provincia de Huarochirí y se encuentra situado a 75 km en orientación este por la carretera Central, a una altitud promedio de 2398 msnm. Se encuentra situado en una agreste geografía andina, ubicado entre dos cerros imponentes a los que los pobladores denominan “Chilcasequia” y “Chihuanpunco”, que son fracciones de la cordillera occidental, por su ubicación presenta una particularidad inusual, es decir un clima seco y templado, siendo la contra estación del clima limeño, así mismo, el distrito de Matucana por las condiciones climáticas y por su ubicación es un distrito agropecuario, es decir esta actividad es su principal fuente de ingreso. En la parte agrícola, hay cultivos de flores, pastizales y cultivos estacionales como el maíz, habas, papa, etc., algunos frutales como el chirimoyo, palto y manzano; por otro lado, en la actividad pecuaria la crianza de ganado vacuno es la que predomina, aunque también se da la crianza de caprinos, ovinos, cuyes y gallinas (Castromonte *et al*, 2010).

El distrito de Matucana está formado por tres comunidades campesinas: Comunidad Campesina de “Barrio Alto”, Comunidad Campesina de “Huariquiña” y la Comunidad Campesina de “Barrio Bajo”, siendo en esta última el lugar donde se desarrolló la investigación.

La comunidad campesina de Barrio Bajo de Matucana es una institución con reconocimiento jurídico del 08 de junio año 1928, mediante resolución suprema S/N pero su existencia como pueblo es ancestral conociéndose desde el siglo XVII, como Tambo, hidrográficamente se encuentra ubicada en la microcuenca de Chucumayo, cuenca del río Rímac, vertiente del océano pacífico (Velásquez, 2013).

La comunidad Campesina de Barrio Bajo está conformada por 04 anexos: Soca, Huillpa, Huillaque y Marachanca, abarcando una superficie de 5,219 Has., así mismo el desarrollo de la investigación se realizó en el caserío de Matara, perteneciente al anexo de Soca, en dicho anexo

la actividad principal es el cultivo de flores, de los cuales la más abundante es la flor de Cartucho, abarcando grandes extensiones de terreno, por otro lado, los comuneros de este caserío presentan animales vacunos en su mayoría, lo cual es idóneo para la implementación de un biodigestor, debido a la abundancia de estiércol vacuno que es necesario para su funcionamiento.

2.2 Residuos Sólidos

El Ministerio del Ambiente (2017), lo define como un objeto cualquiera que proviene del consumo o usufructo de un bien o servicio del cual el propietario tenga la intención de despojarse para que sea manejado priorizando la valorización de este residuo, así mismo, se incluye a todo desecho ya sea en fase sólida o semisólida, también incluyen a los residuos que siendo líquido o gas estén localizado en envases que vas a ser desechados.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la clasificación de los residuos sólidos, según el origen o núcleo de procedencia, según la forma de gestión y según el nivel de peligrosidad que puedan presentar estos residuos.

Tabla 1: Clasificación de los residuos sólidos.

Según su origen	Residuo domiciliario
	Residuo comercial
	Residuo de limpieza
	Residuo hospitalario
	Residuo industrial
	Residuo de construcción
	Residuo agropecuario
Según su gestión	Residuo de actividades especiales
	Residuo de ámbito municipal
Según su peligrosidad	Residuo de ámbito no municipal
	Residuos peligrosos
	Residuos no peligrosos

FUENTE: MINAM, 2017.

2.2.1 Residuo Agropecuario

El MINAG (2012), menciona que estos residuos se generan de las diferentes actividades del sector agropecuario como son la ganadería, forestería, avícola, centros de faenamiento y la actividad agrícola. así mismo, los residuos orgánicos que se generan en las granjas avícolas y de la crianza de animales mayores como los vacunos pueden ser aplicados para la generación de energía, mediante técnicas de fermentación anaerobia.

2.3 Estiércol

El estiércol es una mezcla de los excrementos que producen los animales con los orines y las camas de los dormideros. Según Tinco y Vásquez (2005), el estiércol <<*es el resultado del alimento ingerido por el animal y que no ha sido absorbido, resultando como desechos del proceso de digestión de los alimentos*>>. Otra definición de estiércol, es la que da Jaramillo y Zapata (2008), en la que definen al estiércol como residuo fecal que puede ser aprovechado para su transformación en abono orgánico o en biogás.

La generación de biogás, usando la tecnología de los biodigestores, suele usar diferentes tipos de estiércoles como sustrato (cuy, ovino, caprino, vacuno, etc.), pero generalmente se usa estiércol de ganado vacuno. Muhammadd y Mohd (2015), mencionan que el estiércol de ganado vacuno está hecho de fibras principalmente lignocelulósicas, que no han sido completamente digeridos por los animales. Por lo tanto, existe la necesidad de aplicación de pretratamiento para mejorar la producción de biogás.

2.4 Bokashi

Es una definición japonesa que se explica como un abono orgánico fermentado, y se logra mediante la fermentación por parte de los microorganismos benéficos o efectivos, que acelera la degradación de la materia orgánica (Kyan *et al*, 1999).

La técnica para producir bokashi es mediante volteos habituales y temperaturas por debajo de los 50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuya al disminuir la humedad del material. El bokashi, aunque no suele utilizarse con frecuencia en las prácticas agrícolas, debido a que no es muy conocido, ha tenido mucho éxito en varias aplicaciones agrícolas, por otro lado, el bokashi es altamente versátil ya que puede ser elaborado mezclando casi cualquier subproducto agrícola

disponible con inóculo de los microorganismos eficientes (Jaramillo y Zapata, 2008). En la Tabla 2 se muestra los diversos materiales que se pueden usar para la elaboración del bokashi.

Tabla 2: Materiales para la elaboración de bokashi.

Origen	Sustrato
Animal	<ul style="list-style-type: none"> • Bovinaza, gallinaza, estiércoles (vacuno, cuy, caprino, etc), porquinaza, etc • Desechos de camarón o pescado • Harina de huesos
Vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón de leña quebrado en partículas pequeñas • Ceniza vegetal • Salvado de trigo o de cebada, granza de quinua • Residuo de cosecha hortícola, frutícola • Cascara de cacao, raquis de banano o plátano
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Harina de roca • Miel de panela, miel de caña o Melaza. • Tierra de bosque o tierra negra • Agua limpia

FUENTE: Meza, 2017.

2.4.1 Bokashi tradicional

Es un abono orgánico que es utilizado por los japoneses desde hace muchos años, y se le considera el nombre de tradicional, debido a la forma de elaboración, ya que para la incorporación de microorganismos benéficos usa suelo de bosque o de montaña, así mismo se usa materia orgánica de buena calidad como la semolina de arroz, o la torta de soya, sin embargo, existen múltiples recetas que cada agricultor japonés usaba de acuerdo a los insumos que poseía. El proceso de elaboración de este abono se realiza principalmente bajo condiciones aeróbicas (Shintani *et al.*, 2000).

2.4.2 MB-bokashi

El MB-bokashi, es un abono orgánico fermentado que usa como inoculante microbiano a los microorganismos benéficos, y se diferencia del bokashi tradicional ya que estos usan tierra de bosque como inoculante. Los microorganismos benéficos mejoran la calidad del bokashi ya que

incorporan un cultivo mixto de microorganismos como es el caso de las levaduras, actinomicetos, hongos de fermentación, bacterias de ácido láctico, y bacterias fotosintéticas, lo cual facilita la fermentación del abono haciendo mejorar sus características (Shintani *et al.*, 2000).

El MB-bokashi se puede elaborar en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, obedeciendo las exigencias para su correcta elaboración, conforme Kyan *et al.* (1999) los abonos bokashi según las condiciones de elaboración presentan las siguientes ventajas y desventajas:

- El bokashi en medio aerobio tiene la ventaja de elaborarse en grandes cantidades, ya que su elaboración se puede dar en espacios abiertos y grandes; sin embargo. la desventaja de este tipo de preparación es que se debe controlar la temperatura durante todo su desarrollo, ya que puede dar cabida a la putrefacción de la materia orgánica.
- El bokashi en medio anaerobio, por las exigencias de su elaboración hace de su obtención dificultosa, aunque, si se realiza el método de forma adecuada, la calidad es mejor al del bokashi en medio aerobio.

2.5 Microorganismos benéficos (MB) y microorganismos efectivos (EM)

En toda actividad agrícola, los microorganismos desempeñan un rol importante, ya que promueven el crecimiento de los cultivos, según Wilkinson (2009), tener un vínculo con estos microorganismos es importante para la red de la vida, es por ello que a continuación, se define a los microorganismos benéficos y efectivos.

2.5.1 Microorganismos benéficos (MB)

Actualmente es más común investigar acerca de los microorganismos y de sus diversos roles que desempeñan en el ambiente, así como la forma en la que estos se interrelacionan con las diferentes formas de vida, así mismo, a diario crece la importancia de los microorganismos benéficos, y según Higa y Parr (1994) lo constituyen <<*un amplio grupo de microorganismos desconocidos o mal definidos que interaccionan favorablemente en suelos y con plantas para representar efectos benéficos cuales son muchas veces difíciles de predecir*>>.

Wilkinson (2009), menciona que es complicado cuantificar todas las especies de microorganismos benéficos, aunque actualmente miles ya han sido identificados, se prevé que el número desconocido es inmenso, así mismo, estos microorganismos son comprendidos en mayor instancia por hongos, bacterias y microbios que cumplen un rol importante para el desarrollo de la planta.

2.5.1.1 Funciones de los microorganismos benéficos

Dado que los sistemas agrícolas son conocidos como sistemas de producción, los microorganismos presentes en estos son actores importantes, ya que pueden ayudar en el desarrollo sostenible de estos sistemas agrícolas. La influencia microbiana sobre los cultivos es dividida en tres categorías como lo mencionan Nihorimbere *et al.* (2011).

- a. Microorganismos que son responsables de la nutrición de las plantas por su asociación con ellas.
- b. Microorganismos que impiden el crecimiento de patógenos (biocontrol)
- c. Microorganismos responsables de la promoción directa del crecimiento de las plantas

Por otro lado, los microorganismos son muy influyentes sobre el crecimiento de las plantas, esta influencia abarca la fijación de nitrógeno, la mejora de la estructura del suelo, el control o supresión de enfermedades, la promoción del crecimiento de las raíces y la adquisición de los principales nutrientes (Vadakattu, 2012). Así también, según Trabelsi y Mhamdi (2013) los beneficios de crecimiento de los cultivos en base a la interrelación con los microorganismos pueden atribuirse a tres mecanismos los cuales se mencionan a continuación:

- i. Control biológico (tales como *Trichoderma*, *Pseudomonas* y *Bacillus*)
- ii. Microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPMs) que actúan como biofertilizantes
- iii. Microorganismos Fito estimuladores como el *Azospirillum* que promueve el crecimiento de los cultivos mediante hormonas.

2.5.2 Microorganismos efectivos (EM)

Los microorganismos efectivos fueron reconocidos por el profesor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, en la década de 1970. La creación de esta nueva tecnología de microorganismos tuvo como finalidad reemplazar a los fertilizantes y plaguicidas que tanto daño hacen al medio ambiente (Kyan *et al.*, 1999).

Los Microorganismo efectivos consisten en cultivos mixtos que pueden ser aplicados como inoculantes para aumentar la diversidad microbiana del suelo y planta (Higa y Parr, 1994). Según Rojas (2014), están conformados por diferentes tipos de microorganismos, los cuales entre ellos generan una sinergia metabólica que permite su uso en diferentes ramas de la ingeniería. El BID (2009), menciona que los microorganismos efectivos están compuestos por tres grupos de microorganismos que se encuentran de manera natural en el ambiente como son el suelo y los alimentos. Entre los principales grupos microbianos y especies involucradas se encuentran:

a) Bacterias Fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp.*)

Son un conjunto de microbios autosuficientes e independientes, que sintetizan una sustancia útil a partir de la secreción de la materia orgánica, raíces y gases nocivos (por ejemplo, sulfuro de hidrógeno), para esta síntesis estos microbios utilizan el calor del suelo y la luz solar como fuentes de energía. Las sustancias útiles desarrolladas por estos microbios incorporan azúcares, sustancias bioactivas, aminoácidos y ácidos nucleicos, los cuales promueven el desarrollo de las plantas y actúan como sustrato para aumentar las poblaciones microbianas beneficiosas (Kyan *et al.*, 1999).

b) Bacterias de ácido láctico (*Lactobacillus spp.*)

Estas bacterias son conocidas por producir ácido láctico a partir de carbohidratos y azúcares producidos por las bacterias fototrópicas y levaduras, así mismo, el ácido láctico actúa como un esterilizante es decir suprime los microorganismos dañinos. Además, las bacterias de ácido láctico promueven la fermentación y la descomposición de material como la lignina y la celulosa (Kyan *et al.*, 1999).

c) Levaduras (*Saccharomyces spp.*)

Las levaduras son hongos unicelulares, ovales, esféricas o casi cilíndricas, de tamaño más grande que las bacterias (Madigan *et al.* 2004), estos hongos fabrican sustancias antimicrobianas y sustancias útiles para el crecimiento de las plantas a partir de sustancias secretadas por bacterias fotosintéticas, raíces de plantas y la materia orgánica. Las sustancias producidas por estos hongos como las hormonas y enzimas fomentan la división activa celular y radical favoreciendo al crecimiento de las plantas (Kyan *et al.*, 1999).

2.5.3 Beneficios

El uso de microorganismos efectivos (EM) y benéficos (MB), ofrece múltiples beneficios los cuales se mencionan a continuación:

- Son controladores de olores que se presentan durante la primera semana de compostaje, siendo usado muchas veces en plantas de compostaje debido a que disminuye o anula el olor generado por la descomposición de los residuos orgánicos (Van Fan, 2017).
- Evita la intoxicación de los animales producto de una mejora en su digestión. Además, reduce la presencia de microorganismos patógenos en las heces y orines (Higa y Par, 1994).
- Mejoran el crecimiento de los cultivos debido a que actúan como rizobacterias, así también les dan una fuerte resistencia a los cultivos frente a las plagas (Higa y Parr, 1994).

2.6 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso de degradación microbiológica de la materia orgánica, que es llevado a cabo en un biorreactor o biodigestor. Dentro de éste se deposita el material orgánico diluido en una determinada cantidad de agua para que a través de la degradación en medio anaerobio se produzca biogás y fertilizante orgánico con alto contenido de nutrientes.

Ferrer *et al.*, (2009) menciona que <<la digestión anaerobia o biometanización tiene la ventaja de producir biogás con alto contenido de metano, el cual puede ser utilizado para la producción de calefacción, electricidad y quemado para cocinar>>, así mismo, mencionan que los

productos que se obtienen de la digestión anaerobia son una fuente de energía renovable que tiene beneficios sociales, ambientales y económicos es decir ayuda a reducir la contaminación ambiental por el vertido de desechos y la incineración de estos.

Según Arzate *et al*, (2016) la digestión anaerobia es una tecnología atractiva, para la producción de biogás, que puede contribuir a la reducción de consumo de energía proveniente de los combustibles fósiles; además para que se dé el proceso de la digestión anaerobia se puede usar diversas materias primas como sustrato, haciéndola atractiva para el manejo adecuado de residuos orgánicos.

2.6.1 Fases del proceso de digestión anaerobia

La producción de biogás se lleva a cabo por un gran número de bacterias que actúan de manera sinérgica, aunque trabajan a distintas velocidades, es decir ocurren diversas transformaciones distinguiéndose primordialmente cuatro etapas:

a) Etapa de Hidrólisis

Salamanca (2009) menciona que en esta etapa la materia orgánica polimérica no puede ser utilizada por los microorganismos de una manera directa, es por ello que se necesita de la hidrólisis de estos compuestos hasta hacerlos solubles para el uso de los microorganismos presentes en esta etapa. La hidrólisis inicial empieza por la añadidura de moléculas y termina cuando estas sustancias sean convertidas en sustratos orgánicos simples. Estos sustratos hidrolizados se fermentan generando ácidos orgánicos (acético, propiónico, butírico y láctico) y en menor magnitud compuestos neutros (metanol, etanol, NH_3 , H_2 y CO_2).

Varnero (2011) menciona que *<<la etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso de digestión anaerobia, sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos>>*, es por ello que se da la necesidad de tratar los residuos que ingresan al biodigestor, para mejorar el proceso hidrolítico y las bacterias pueden asimilar la materia orgánica como fuente alimenticia para cumplir sus labores metabólicas

b) Etapa acidogénica

Varnero (2011) menciona que en esta etapa se da lugar la fermentación de moléculas orgánicas solubles hasta su transformación en sustancias que puedan ser utilizadas por las bacterias de la fase de metanogénesis, entre estas sustancias se tiene el ácido acético, el ácido fórmico y el hidrógeno, por otro lado, también se da la formación de compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente), estas sustancias deben ser oxidadas por las bacterias de acetogénicas para su posterior uso en la fase de metanogénesis.

c) Etapa acetogénica

Varnero (2011) menciona que en esta etapa se da la transformación de compuestos como lo son los ácidos grasos volátiles, algunos compuestos aromáticos y el etanol en compuestos más simples como el hidrógeno y el acetato. Estos compuestos simples al estar en simbiosis con las bacterias de la etapa de metanogénesis producen metano, el cual es el principal componente del biogás.

d) Etapa Metanogénica

Pérez (2010) menciona que << esta etapa comprende la formación de metano en condiciones estrictamente anaeróbicas >>. Así mismo, Varnero (2011) menciona que en la fase metanogénica las bacterias encargadas de transformar los productos de las etapas anteriores y de esta etapa son las bacterias anaeróbicas estrictas. Por otro lado, los microorganismos metanogénicos completan el desarrollo de digestión anaeróbica mediante la constitución de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente (formato, acetato, metanol H_2/CO_2 , y algunas metilaminas).

Las bacterias metanogénicas integran al reino de las arqueobacterias y de acuerdo a los sustratos que pueden degradar se dividen en tres grupos los cuales se mencionan a continuación: (a) Hidrogenotróficos, (b) Aceticlásticos y (c) Metilótrofos (Perez, 2010).

A continuación, en la Figura 1 se muestra el proceso anaeróbico y las distintas transformaciones que ocurren dentro del proceso anaerobio.

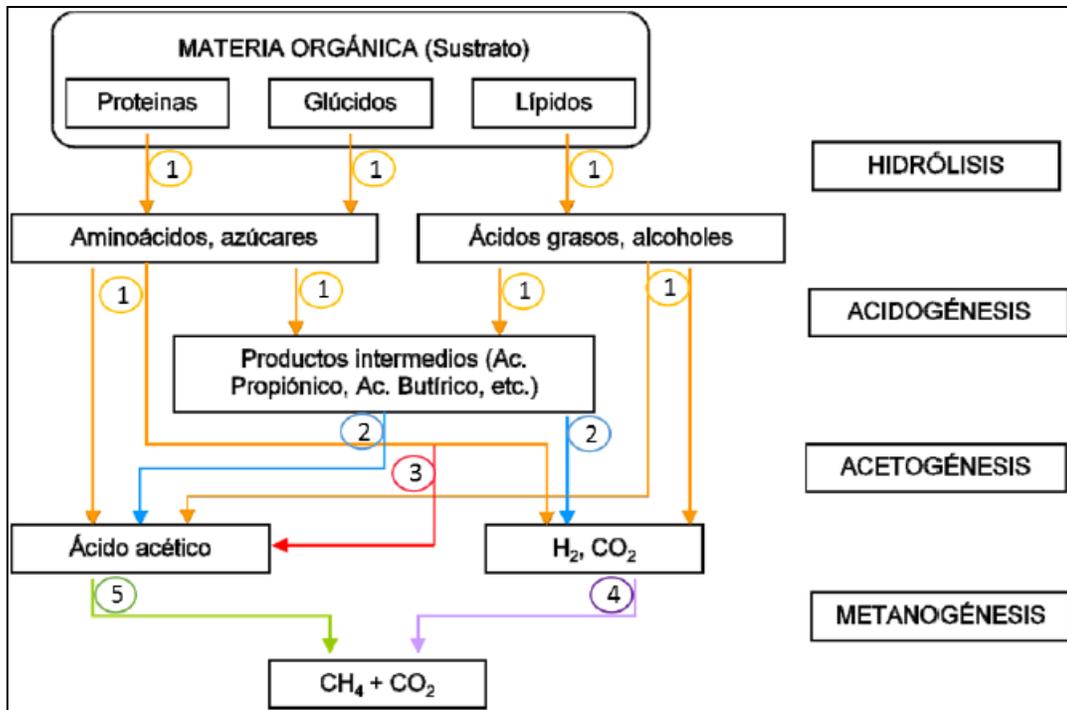


Figura 1: Proceso de digestión anaerobia.
FUENTE: Ocaña, 2011.

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

2.6.2 Factores que condicionan la producción de biogás

Durante el proceso anaerobio, existen factores que pueden influir y modificar las reacciones de descomposición de la materia orgánica, conforme a esto se muestran los principales factores:

a) Temperatura

Muchos sistemas biológicos, al igual que el proceso de digestión anaerobia son dependientes de la temperatura, ya que la velocidad de crecimiento de los diversos microorganismos presentes en este sistema está relacionada directamente con este parámetro, ya que un incremento de la temperatura, genera una mayor la velocidad de crecimiento de los microorganismos, generando una aceleración del proceso de digestión anaerobia, y esto conlleva a una mayor producción de metano (Varnero, 2011).

Debido a ello la temperatura se considera como uno de los primordiales parámetros de diseño de un biodigestor, debido a la enorme influencia que tiene este factor en la velocidad de digestión anaerobia. En la Tabla 3 se distinguen tres tipos de fermentación en los cuales puede operar un biodigestor.

Tabla 3: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

Fermentación	Temperatura óptima	Días de fermentación
Psicrofílica	15 – 18 °C	Sobre 100 días
Mesofílica	25 – 35 °C	30 – 60 días
Termofílica	50 – 60 °C	10 – 15 días

FUENTE: Lagrange citado por Varnero, 2011.

Quipuzco (2016), menciona que el régimen de fermentación más adecuado para que pueda operar un biodigestor, es el mesofílico, y la temperatura óptima a la cual se debe encontrar esta fermentación es de 35°C, así mismo, Varnero (2011), menciona que *<<el régimen mesofílico es el más utilizado actualmente, y que la temperatura óptima de este régimen se encuentra en el rango desde 25 a 35°C>>*.

b) pH

El pH es otro parámetro de suma importancia de los digestores anaerobios y normalmente se encuentra en un rango de 6 a 8 con un valor óptimo de 7, ya que los microorganismos necesitan de un medio cercano a la neutralidad para desarrollar un correcto proceso de digestión anaerobia (Quipuzco, 2012). Valores de pH muy distintos a los mencionados anteriormente afectan fundamentalmente a la actividad enzimática de los microorganismos mediante: a) variaciones de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxil y amino; b) Modificación de los componentes no ionizables del sistema y c) desnaturalización de la estructura proteica de las enzimas (Pérez, 2010)

c) Relación Carbono/Nitrógeno

Diversos residuos orgánicos son usados para su transformación en biogás y biol mediante digestión anaerobia, sin embargo, un requisito fundamental para que se de una buena calidad de biogás es el contenido de carbono y de nitrógeno (nutrientes) de estos residuos.

Los niveles de nutrientes se deben de encontrar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, debido a que se inhiben severamente por falta de nutrientes, es por ello que el nitrógeno y el carbono son las fuentes principales de alimentación de las bacterias metanogénicas ya que según Verner (2011) <<El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1>>.

En la Tabla 4, se puede observar la relación Carbono/Nitrógeno de los principales sustratos utilizados para la digestión anaerobia.

Tabla 4: Relación Carbono/ Nitrógeno de los principales sustratos utilizados.

Sustratos	Contenido de carbono en los sustratos en peso (%)	Contenido de nitrógeno de los sustratos en peso (%)	Relación (C:N)
Estiércol de aves	41	1.30	32:1
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.60	13:1
Estiércol fresco de vaca	7.3	0.29	25:1
Estiércol fresco de oveja	16	0.55	29:1
Tallo del maíz	40	0.75	53:1
Hojas secas	41	1.00	41
Pasto	14	0.54	27:1
Paja seca de arroz	42	0.64	67:1

FUENTE: CEPIS. 1996.

Por otro lado, con el fin de obtener un buen aprovechamiento de biogás en forma constante y estable durante la digestión anaerobia, es conveniente mezclar proporciones adecuadas de diferentes sustratos con bajo y alto rendimiento y de distintas velocidades de generación. Asimismo, es recomendable agregar a la materia con una alta relación C: N materias ricas en nitrógeno, con el fin de reducir dicha relación y hacerla disminuir hasta que se encuentren en valores de 30:1 a 20:1 (CEPIS, 1996).

La relación C: N se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{C1X1 + C2X2 + C3X3 \dots}{N1X1 + N2X2 + N3X3 + \dots} = \frac{\sum CiXi}{\sum NiXi}$$

Donde:

C: Porcentaje de carbono en la materia prima

N: Porcentaje de nitrógeno en la materia prima

X: Peso de la materia prima

K: Relación C: N de la mezcla de las materias primas o sustratos.

d) Tiempo de retención hidráulico.

Este término se refiere al tiempo que permanece el sustrato dentro del biodigestor y su valor depende de la temperatura a la cual opera el biodigestor, ya que según Varnero (2011), si la temperatura oscila en un rango de 20 a 30 °C, el tiempo de retención será de 30 días, por otro lado, el valor del tiempo de retención es inversamente proporcional al volumen de carga que se realiza al biodigestor, debido a que si se carga con un mayor volumen el tiempo que permanece el sustrato en el biodigestor disminuye.

Por otro lado, Quipuzco, (2016) menciona que el tiempo de retención hidráulico, es el tiempo promedio en que la materia prima es degradada por los microorganismos. Se ha observado que aun tiempo corto de retención se obtiene mayor producción de biogás, pero se obtiene un efluente (fertilizante) de baja calidad por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo en biogás, pero el efluente (residuo) será más degradado y tendrá una alta calidad como fertilizante, ya que tendrá excelentes características de nutrimentos

Para realizar el cálculo del tiempo de retención hidráulico se tiene que dividir el volumen líquido del biodigestor (80 por ciento del volumen total del biodigestor), entre la carga que se aplica al biodigestor.

$$TRH = \frac{0.8xVOL. TOTAL DEL BIODIGESTOR}{Carga \left(\frac{Vol.}{Tiempo} \right)}$$

e) Agitación

Capcha (2014) menciona que << *la agitación permite mejorar la productividad de biogás en los reactores anaerobios, ya que asegura una homogeneidad del contenido en el digestor y favorece a los cambios térmicos de éste. Por otra parte, permite asegurar, en parte, la desgasificación de los lodos. Esta agitación se puede hacer mecánicamente o por simple recirculación de gas o del efluente*>>.

Así mismo, Varnero (2011), menciona que la agitación aumenta la producción de biogás y disminuye el tiempo de retención hidráulico, y se da por cuatro razones:

- Homogeneidad de la temperatura en el reactor.
- Homogeneidad de los productos tanto intermedios como finales del reactor.
- Mayor degradación de los sustratos del biodigestor por las bacterias.
- Se impide la formación de lodos o nata en la parte superior del reactor, generando una salida correcta del biogás.

f) Hermetismo

Este factor es importante para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, debido a que si se presentase una fuga no se obtendría una acumulación de metano, el cual es el principal componente del biogás. Por otro lado, la presión subatmosférica dentro del biodigestor debe ser de 6 cm de agua, a esta presión se le considera como la presión óptima (Quipuzco, 2016).

g) Potencial Redox

El valor del potencial redox, para un adecuado crecimiento de los anaerobios obligados se debe mantener entre -220 mV a -350 mV a pH 7.0 asegurando el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. Cuando se cultivan bacterias metanogénicas, se incorporan agentes reductores fuertes tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado (Varnero, 2011).

h) Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis

La inhibición del proceso de digestión anaeróbica se da por la presencia de sustancias que resultan tóxicas a las poblaciones bacterianas presentes, éstas pueden ocurrir en varios grados, causando la disminución en la producción de biogás, deficiencia en la remoción de la materia orgánica e inclusive la falla total del proceso.

La principal sustancia tóxica de la digestión anaerobia es el oxígeno. Los microorganismos metanogénicos se encuentran entre los más estrictamente anaerobios que se conocen: 0,01 ppm de oxígeno inhiben completamente su crecimiento (Jarabo, 1999 citado por Blanco 2011). El resto de los inhibidores más frecuentes son el NH₃ libre, los ácidos grasos y el sulfuro de hidrógeno (H₂S). También los iones de metales ligeros como sodio, potasio, calcio y magnesio están generalmente presentes en los residuos orgánicos biodegradables. Estos iones pueden resultar del proceso de degradación de la materia orgánica, o por adición de compuestos químicos para mantener el pH en un rango específico. Moderadas cantidades de estos iones son necesarias para el correcto desarrollo de las poblaciones bacterianas, sin embargo, cantidades excesivas pueden retardar el crecimiento de los microorganismos, e incluso causar la inhibición (Angelidaki y Ahring citado por Cendales 2011).

En la Tabla 5 se presenta una lista de inhibidores y sus concentraciones respectivas.

Tabla 5: Concentración inhibidora de inhibidores comunes.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄	5000 ppm
NaCl	40 000 ppm
Nitratos	0.05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 - 500 mg/l
Na	3500 - 5500 mg/l
K	2500 - 4500 mg/l
Ca	2500 - 4500 mg/l

FUENTE: (CEPIS). 1996.

2.7 Biodigestores

El biodigestor es un reactor hermético en el que ocurre todo el proceso bioquímico de la degradación de la materia orgánica, es decir se da en un medio anaerobio en el cual los residuos orgánicos son descompuestos por diversas bacterias presentes en el proceso de digestión anaerobia, hasta obtener tres subproductos, los cuales son el biogás, biol y el fertilizante sólido biosol.

Según Martí *et al.*, (2016), los biodigestores permiten tratar los residuos orgánicos (purines, excremento animal, residuos agrícolas blandos, de la agroindustria, etc.) mediante un proceso biológico (digestión anaerobia) produciendo, i) un gas combustible rico en metano, que es capturado (biogás), y ii) un fertilizante orgánico de composición compleja y natural (biol o digestato).

El biogás obtenido de los biodigestores puede ser utilizado como combustible en las cocinas, para calefacción, iluminación o para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol (también digestato o efluente), inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a los usuarios un fertilizante natural que aporta nutrientes y precursores de crecimiento de fácil asimilación para las plantas (Pinto, 2012).

Como parte de los diversos usos que se le da a la tecnología de los biodigestores, Filmtex citado por Rojas (2014) destaca los siguientes beneficios que conlleva usar esta tecnología, sobre todo, en medios rurales:

- Reducción de la producción de gas metano. El excremento en estado natural expulsa grandes cantidades al espacio de este gas, que es uno de los más perjudiciales para la capa de ozono.
- Reducción de la generación de malos olores a más del 90 por ciento.
- Reducción de la contaminación para los componentes agua y suelo.
- Reducción de tala de árboles, debido a que ahora el biogás obtenido podrá ser usado en las cocinas.

- Mejora de la agricultura tradicional por el uso de abonos orgánicos que ofrece el biodigestor (biol y biosol).
- Evita la formación de monóxido de carbono que se produce cuando se usa leña o bosta para las cocinas.
- Reduce el núcleo de aparición de insectos, ya que el estiércol es tratado.
- No presenta peligro de explosión, ya que un balón de gas de uso tradicional resulta en un peligro constante.
- La incorporación y el mantenimiento de esta tecnología presenta un costo reducido.

Debido a que la diversidad de biodigestores en el mercado es muy amplia, se realizó un análisis de los tipos de biodigestores más comunes en el medio rural como se muestra a continuación.

2.7.1 Principales digestores en medio rural

Varnero (2011), menciona que un biodigestor es un sistema hermético, donde se tratan residuos orgánicos y para ello se mezclan estos residuos con agua para que sean digeridos por los microorganismos. Uno de los productos que genera el tratamiento de los residuos orgánicos es el biogás y su almacenamiento se da en la parte superior del mismo biodigestor a la cual se denomina campana de gas.

A continuación, se describe los tipos de biodigestores que se presentan en el medio rural, por su método de carga:

- a) **Sistemas Batch:** Este término se refiere a que los biodigestores se cargan con los residuos orgánicos en un solo lote. Luego de un cierto periodo de fermentación, cuando la producción de biogás decae por la descomposición de la materia orgánica, se vacían los reactores y se vuelve a cargar dando inicio otro proceso de digestión anaerobia.
- b) **Sistemas Semi continuos:** La primera carga consta de gran cantidad de materiales, y luego cuando va disminuyendo gradualmente el contenido de biogás se va agregando nueva materia prima y su descarga es en la misma proporción a la que se agrega.
- c) **Sistemas continuos:** Son cargados y descargados parcialmente todos los días.

Por otro lado, los biodigestores en zonas rurales, también se pueden clasificar según su método de construcción, los cuales son mencionado:

a) Modelo Chino

Este modelo de reactor es muy utilizado en China, y la característica principal es la cúpula fija en forma de cilindro, así mismo, presenta cámaras enterradas a los que se les denomina cámaras de hidropresión. Este digestor por estar enterrado mejora el proceso de digestión anaerobia debido a la poca variación en la temperatura; sin embargo, la desventaja que presenta es que la presión del biogás es variable (Quipuzco, 2016).

Para iniciar el proceso de fermentación, el reactor se llena con residuos orgánicos que previamente han sido compostados, también se agrega lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. En la Figura 2, se aprecia el biodigestor tipo chino.

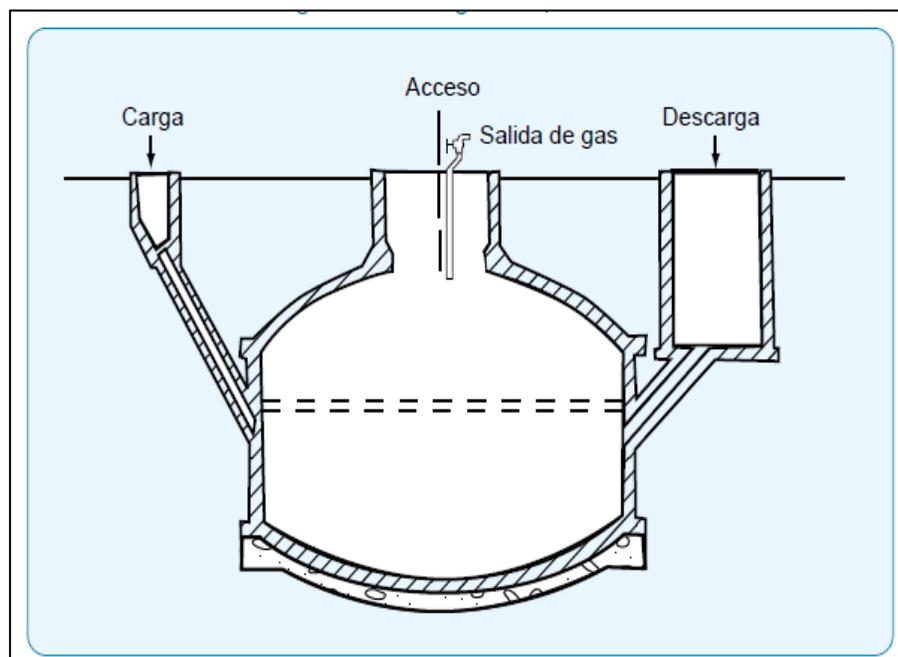


Figura 2: Biodigestor tipo chino.

FUENTE: Varnero, 2011.

b) Modelo Indiano

Estos biodigestores son verticales y se encuentran enterrados, asemejándose a un pozo, el cargado se realiza por gravedad y el volumen de carga dependerá del tiempo de fermentación,

así mismo, al ser enterrado la temperatura de estos no fluctúa, manteniéndose estable, lo cual es propicio para una producción de biogás constante. (Hilbert y Eppel citado por Varnero 2011).

El almacén de biogás se encuentra en el propio sistema del biodigestor, es decir en la parte superior asemejándose al biodigestor chino, sin embargo, una desventaja que presenta es la poca presión que se genera para la salida del biogás, es por ello que se incorpora una campana que genera una presión constante, lo que permite una operación adecuada. Otra función de la campana es ayudar al rompimiento de la espuma que se forma permitiendo una mejor salida de biogás (Varnero, 2011).

A continuación, en la Figura 3, se muestra el biodigestor tipo Indú.

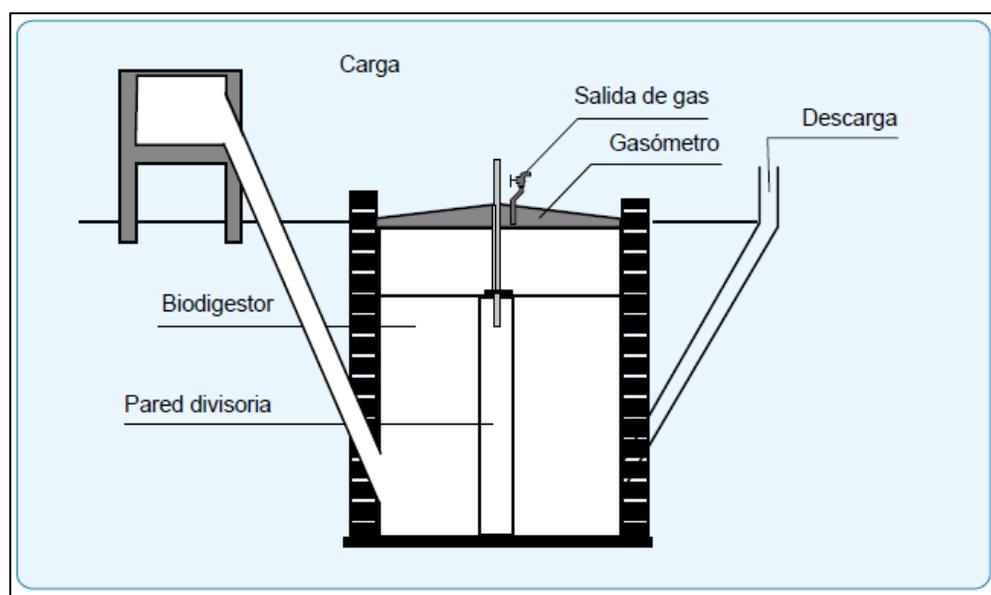


Figura 3: Biodigestor tipo indiano.

FUENTE: Varnero, 2011.

c) Modelo Horizontal - Tubulares

Estos biodigestores se diferencian del indiano y del tipo chino, por ser poco profundos, es decir no se llega a enterrar todo el sistema, por otro lado, a diferencia del tipo indiano este biodigestor es de forma horizontal y alargado. Para la operación de este reactor se usa un régimen semicontinuo, es decir que el cargado se puede realizar de manera interdiaria. Entre sus

características de diseño se aprecia que la carga ingresa por un extremo y la salida del biol y biosol se da por el otro extremo. Para su construcción se usan geomembranas y se recomiendan instalar este tipo de reactor cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³ (Varnero, 2011).

Botero (2009), menciona que los biodigestores tubulares, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por tener un costo bajo, de fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Debido a esto, los biodigestores tubulares, son muy usado en poblaciones rurales, pese a las condiciones climáticas del lugar, y según Martí (2011) los biodigestores funcionan, con adaptación adecuada en climas tropicales, continentales y fríos, y que han venido implementándose en países en desarrollo desde la década de los ochenta. A continuación, se muestra en la Figura 4, la representación de un biodigestor de tipo horizontal.

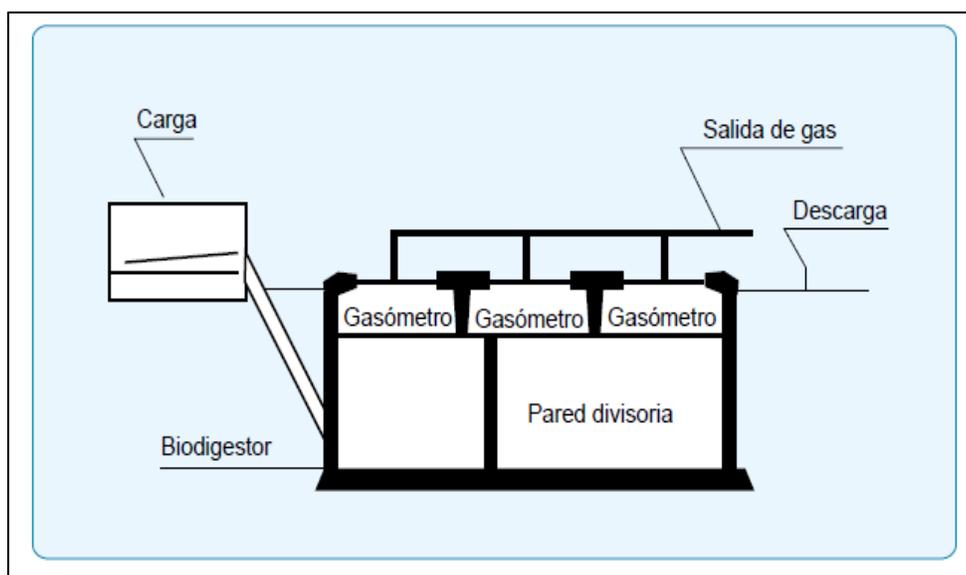


Figura 4: Biodigestor tipo horizontal.

FUENTE: Varnero, 2011.

2.8 Biogás

El Ministerio de Energía de la República de Chile (2017), aprueba el reglamento de seguridad de las plantas de biogás y en este se menciona que el biogás << *Es un gas obtenido por procesos*

de digestión anaeróbica de materia orgánica, cuyos componentes principales son metano (CH_4), y dióxido de carbono (CO_2), con presencia de otros componentes tales como nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua y otros en menor proporción.>>.

La composición de cada elemento que está presente en el biogás dependerá de muchos factores, como es el caso del tipo de materia orgánica que se va a biodigestar, sin embargo, en el Manual lechero del Ministerio de Energía del gobierno de Chile, Martí *et al.*, (2018), muestra la composición típica del biogás, lo cual se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6: Composición típica del biogás.

Propiedad	Valor
Metano (CH_4) (% - mol)	50 – 80
Dióxido de carbono (CO_2) (% - mol)	20 – 50
Nitrógeno (N_2) (% - mol)	0 – 5
Oxígeno (O_2) (% - mol)	0 – 1
Sulfuro de hidrógeno (H_2S) (mg/m^3 ; ppm m/v)	100 – 10×10^4
Amoníaco (NH_3) (mg/m^3 ; ppm m/v)	0 – 100
Cloro total (Cl) (mg/m^3 ; ppm m/v)	0 – 100
Flúor total (F_2) (mg/m^3 ; ppm m/v)	0 – 100

FUENTE: Wellinger, citado por Martí, *et al.*, 2018.

Por otro lado, Zedláková *et al.* (2017) menciona que <<el biogás es una fuente de energía sostenible y renovable, y se presenta como una alternativa frente al uso de los combustibles comunes>>. El biogás se produce durante la digestión anaerobia de diferentes tipos de residuos orgánicos, y el principal componente que se aprovecha energéticamente es el metano (CH_4), ya que es un gas combustible, así mismo, Martí *et al.*, (2018), menciona que los demás componentes del biogás son impurezas con un impacto significativo en la forma en la que se utiliza el biogás. Ya que estas impurezas pueden ocasionar daños y corrosión a nivel estructural de las tuberías, equipos entre otros, como también a la salud de las personas y al medio ambiente.

En la Tabla 7, se muestran las propiedades de un tipo estándar de biogás, y en la Tabla 8, se mencionan los efectos negativos que pueden ocasionar los componentes del biogás.

Tabla 7: Propiedades del biogás.

Propiedades	Descripción
Energía Contendida	6,0 – 6,5 Kwh./m ³
Equivalente en combustible	0,6 – 0,65 L (petróleo/m ³ (biogás))
Límite de explosión	6 - 12 % biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750 ° C (según metano contenido indicado)
Presión crítica	75.89 bares
Temperatura crítica	-82.5 °C
Densidad Normal	1.2 Kg/m ³
Olor	Huevos en mal estado

FUENTE: Pérez, 2011.

Tabla 8: Componentes del biogás y sus efectos.

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

FUENTE: Deublein y Steinhauser, 2008.

2.8.1 Aplicaciones del biogás

Vernero (2011), mencionan que existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos.

- a. Producción de calor o vapor: El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.
- b. Generación de electricidad: Otra de las formas de poder aprovechar el biogás es mediante la generación de biogás, para que se pueda generar este tipo de energía el biogás tiene que cumplir con ciertas normas es decir la concentración de los gases trazas que presenta deben de disminuir considerablemente ya que pueden generar una falla en el sistema.
- c. Combustible para vehículos: El uso de biogás para los vehículos ya es posible, sin embargo, este producto debe cumplir con normas de calidad ya que puede dañar el sistema del vehículo, entre las características a mejorar del biogás se encuentra una menor concentración de sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y de vapor de agua.

2.8.2 Potencial bioquímico de metano (PBM)

Este método es adecuado para estimar la biodegradabilidad de los sustratos que ingresan al biodigestor, ya que permite determinar la posible producción de metano de cualquier sustrato orgánico de manera experimental en un laboratorio. La instalación y desarrollo de este método es de fácil ya que los costos de construcción, repetibilidad y reproductibilidad son muy bajos (Luna citado por Valdez, 2016).

El método no solo prevé la posible producción de metano, si no también muestra información de la degradación anaerobia de la materia orgánica y es posible evaluar las posibles sustancias inhibitoras que se puede presentar en la digestión anaerobia. Así mismo, en la norma EN 11734, DIN 38 414-S8 o VDI (2006), se puede apreciar los ensayos de biodegradabilidad de manera estandarizada como menciona Valdez, (2016).

Drosg *et al.*, (2013), adapta el método estandarizado de la norma DIN 38 414-S8, para hacer la prueba más práctica, para ello reemplaza los dispositivos de medición de gas eudiómetro por botellas de vidrio, además, una botella con una solución alcalina se coloca después del digestor con el fin de absorber el dióxido de carbono producido, y para permitir la medición directa de metano.

La metodología adaptada por Drosg (2010) menciona que para poder determinar la cantidad de metano se realizará un test de degradación “Batch”, en la cual se acondiciona un frasco de 500 a 1000 ml, el cual simulará al biodigestor, este frasco es herméticamente tapado, sin embargo tendrá un desfogue por la parte superior en la cual el gas producido será transportado a otro frasco de 500 ml que contiene hidróxido de sodio (NaOH) concentrado, la función del NaOH es retener el dióxido de carbono (CO_2) y dejar pasar el metano, para ello el frasco de 500 ml con NaOH, tendrá un desfogue hacia otro frasco con agua destilada, y es ahí cuando el metano que pasa a este frasco desplaza un volumen de agua, que será recolectado en otro frasco, este volumen ultimo indicará el volumen producido de metano.

Para determinar la producción de biogás, se hará el mismo procedimiento que para el metano, solo que para este caso ya no se usará un frasco con NaOH, es decir el biodigestor será conectado directamente a una solución de agua destilada acida (pH de 3 a 4). A continuación, las Figuras 5 y 6 muestran el test de degradación tanto para el metano como para el biogás, respectivamente.

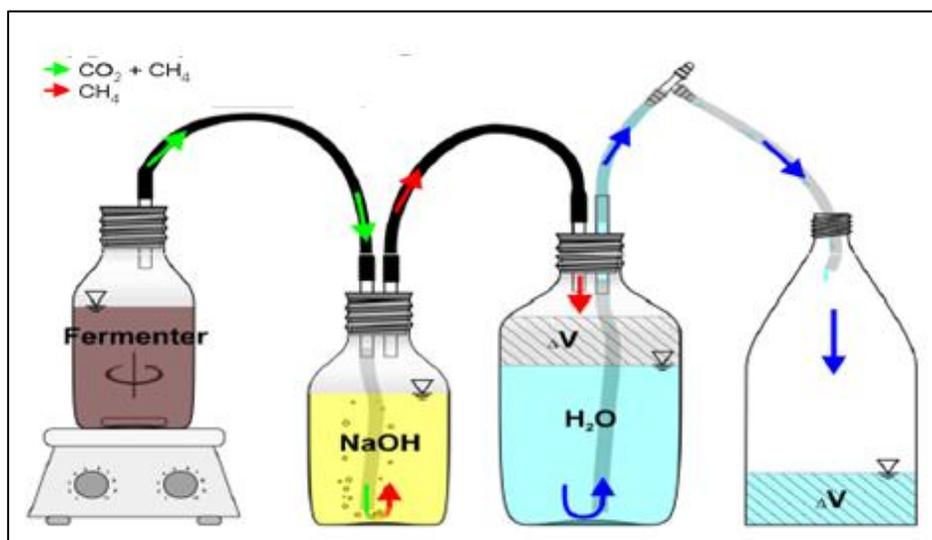


Figura 5: Test de degradación para metano.
FUENTE: Drosg, 2010.

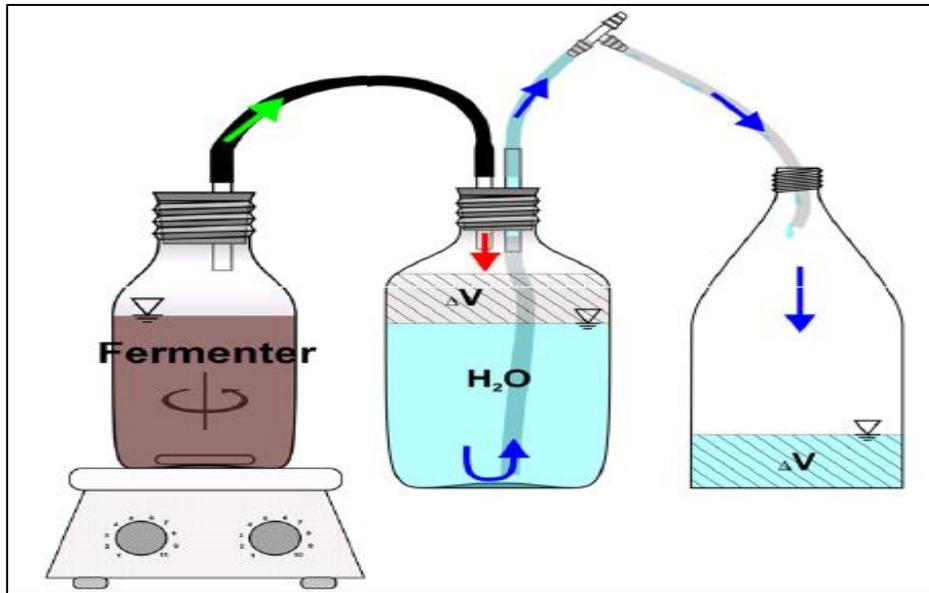


Figura 6: Test de degradación para biogás.

Fuente: Drosog, 2010.

En la metodología de Drosog *et al.*, (2013), se menciona que el volumen de biogás y metano producido por el test de degradación debe ser convertido a condiciones normales es decir a una temperatura de 0°C y una presión de 760 mm Hg. A continuación, se presenta la ecuación para transformar el volumen de metano y biogás a condiciones normales.

$$V_0 = \frac{V \times (760 - P_w) \times T_0}{P_0 \times T}$$

Donde:

V₀: Volumen del gas a Cond. Normal

V: Volumen del gas.

P₀: 760 mm Hg

P_w: Presión del vapor de agua.

T₀: 273 K

T: Temperatura ambiente.

2.9 Biofertilizante

El biofertilizante, es uno de los subproductos que se obtienen luego del proceso de biodigestión, además lo podemos encontrar de forma líquida y sólida, a los que se les denomina biol y biosol respectivamente.

2.9.1 Biol

El biol, es el producto que se obtiene de la digestión anaerobia de los residuos orgánicos que ingresan al biodigestor. Este producto tiene una amplia utilidad en las actividades agronómicas, el uso que se le da es como fertilizante orgánico, y su empleo ofrece ventajas en el cuidado del ambiente frente a los fertilizantes químicos. Cárdenas *et al.* (2013), afirman que el biol puede utilizarse como acondicionador de suelos por sus características fisicoquímicas, el FONCODES (2014) menciona que estas características son producto de que el biol es una fuente orgánica de fitorreguladores, que es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas.

El biol puede aplicarse directamente al campo en cantidades recomendadas, no posee mal olor y no atrae moscas (Mc Caskey, citado por Soria *et al.* 2001). Investigaciones realizadas permiten comprobar que los bioles aplicados foliarmente a los cultivos (alfalfa, papa, hortalizas) en una concentración entre 20 y 50 por ciento estimulan su crecimiento, mejoran la calidad de los productos e incluso tienen cierto efecto repelente contra las plagas (Arévalo, citado por Schlaefli 2010).

Los abonos orgánicos líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y aminoácidos. Estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo (Vásquez, citado por Schlaefli 2010).

2.9.1.1 Beneficios del biol

Aparcana (2008) destaca los siguientes beneficios del biol en la agricultura:

- Crea microclimas en el suelo y mantiene una humedad constante en el suelo.
- Aumenta la capacidad de germinación de las semillas al ser aplicado a estas.

- Promueve actividades fisiológicas y estimula el crecimiento de las plantas por la fuente de fitorreguladores que posee.
- Favorece la capacidad de intercambio catiónico del suelo, ayudando a aumentar la disponibilidad de macronutrientes.
- Por su naturaleza líquida se puede usar en los sistemas de riego tecnificado.

2.9.2 Biosol

Este biofertilizante, es el resultado de separar la parte sólida del fango resultante de la fermentación anaeróbica dentro del Fermentador o Biodigestor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este Biosol tratado puede alcanzar entre 25 por ciento a sólo 10 por ciento de humedad, el cual es principalmente el biol residual. Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación en el biodigestor. Se puede emplear sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos. Para mejorar la calidad del biosol, el sustrato con que se trabaja debe ser de una mezcla de residuos más ricos (Aparcana, 2008). Al ser un biofertilizante, presenta muchos beneficios, los cuales son mencionados en la Tabla 9.

Tabla 9: Beneficios del biosol.

Fertilizante orgánico	Beneficios
Biosol	Aumenta la capacidad de nutrientes para los cultivos, generando un mayor crecimiento de estos, así mismo, mejora las características del suelo por un aumento de sus nutrientes.
	En el suelo, aumenta la capacidad de retención de la humedad, mejora su estructura y la actividad biológica.
	Al ser usado como abono orgánico permite disminuir el uso de agroquímicos, siendo beneficioso para el ambiente.

FUENTE: Aparcana (2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en la cual se desarrollaron las pruebas experimentales.

La segunda etapa se desarrolló en el anexo de Soca, distrito de Matucana, lugar donde se tiene instalado un biodigestor tubular de 10 m³ (ver Figura 7), en el cual se probó el mejor tratamiento encontrado a nivel de laboratorio, para la generación de biogás, biol y la disminución de sulfuro de hidrógeno en la fase de operación del biodigestor.



Figura 7: Biodigestor tubular instalado en el anexo de Soca – Matucana

3.2 Materiales

El desarrollo de la investigación se hizo uso de diferentes materiales y equipos los cuales se encuentran en la Tabla 10.

Tabla 10: Actividades de investigación.

Descripción	Materiales y equipos
Recolección de la materia prima	<ul style="list-style-type: none">• Palas• Plástico de 2m x 3m• Botella de 1 litro de primer uso• Bolsa ziplock• Balanza electrónica• Hielo• Cooler
Producción de microorganismos benéficos	<ul style="list-style-type: none">• Residuo de cartucho (2 kg)• Ortiga (2 kg)• Agua de riachuelo libre de cloro (16 litros)• Sal (1 kg)• Hígado vacuno (1 kg)• Azúcar (1.6 kg)
Cargado de los biodigestores Batch	<ul style="list-style-type: none">• Probetas de 5 y 100 ml• Agua destilada• Silicona líquida• Precintos• 16 botellas de vidrio de 1 litro• 16 botellas de vidrio de 500 ml• Balanza analítica
Equipo de laboratorio	<ul style="list-style-type: none">• Equipo de baño maría• Potenciómetro• Agitador Magnético• Equipo Medidor de gas Multitec 545.• Termohigrómetro EBCQ

3.3 Procedimiento metodológico

El desarrollo de la investigación tuvo una duración de 8 meses, iniciando el mes de noviembre de 2017 y terminando el mes de julio de 2018. A continuación, se muestra de manera secuencial la metodología que se realizó en la presente investigación.

3.3.1 Recolección de la materia prima

La materia prima usada consta de estiércol de ganado vacuno, agua de arroyo, residuos de la cosecha de cartucho y ortiga, estos insumos fueron recolectados del anexo de Soca, Distrito de Matucana, Provincia de Huarochirí, Región Lima.

A. Procedimiento

La recolección de la materia prima estuvo enmarcada en diferentes etapas, las cuales son descritas a continuación:

- a. Se llevaron 2 kilogramos de muestra de estiércol para su análisis en laboratorio, para ello se tomó una muestra representativa el cual fue obtenido mediante el método del cuarteo. Para ello, en un plástico de 2 m x 3 m se recolecto estiércol del establo, luego por el método del cuarteo se obtuvo una muestra representativa, esta muestra se llenó en una bolsa ziplock y posteriormente se introdujo en un cooler, para su traslado al laboratorio.
- b. Se llevó 1 kilogramo de residuo de cartucho para su análisis en laboratorio, para ello se tomó una muestra representativa el cual se obtuvo mediante el método del cuarteo, Para ello de una parcela que contiene cultivos de Cartucho, se procedió a sustraer todos los residuos de cartucho de la cosecha que se encontraban en la parcela, luego por el método del cuarteo se sustrajo el kilogramo que se necesitó para su análisis en laboratorio.
- c. Se llevó 1 litro de agua del arroyo que es usado para la alimentación del biodigestor tubular que se implementó en el anexo de Soca, en Matucana. En primer lugar, la botella de plástico de primer uso fue lavado con el agua del arroyo, luego para extraer el agua se procedió a sumergir la botella de tal forma que este a la mitad de profundidad del arroyo. Finalmente, para su traslado desde Matucana hasta el laboratorio, se procedió a llenar la muestra de agua en un cooler el cual fue relleno con hielo para poder preservar sus características fisicoquímicas.

- d. Se recolectaron 2 kilogramos de ortiga y 2 kilogramos de residuo de cartucho para la elaboración de microorganismos benéficos. Para su recolección se usaron guantes, tijeras y costales.
- e. Se recolectaron 9 kilogramos de estiércol de ganado vacuno, los cuales fueron llenados en bolsas ziplock, cada bolsa ziplock contenía 500 g de estiércol, los cuales fueron usados para realizar el pretratamiento tipo abonos bokashi. El pretratamiento se hizo a diferentes dosis de concentración de microorganismos benéficos los cuales serán explicados posteriormente.
- f. Para el cargado en los biodigestores batch a escala de laboratorio, se hizo la recolección de 5 kg de estiércol, 1 kg de residuo de cartucho y 20 litros de agua de arroyo.

3.3.2 Análisis de estiércol vacuno, cartucho y agua

Los análisis que se muestran a continuación fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

A. Análisis de estiércol vacuno

Se analizaron cuatro parámetros al estiércol vacuno, el porcentaje de humedad, el porcentaje de sólidos totales, el porcentaje de sólidos volátiles y la relación carbono/nitrógeno. Los tres primeros parámetros fueron analizados en las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental, siguiendo el método gravimétrico, que es un método cuantitativo para determinar la cantidad de una sustancia midiendo su peso con la ayuda de una balanza analítica, para ello se hizo uso de la Norma ASTM D 5142-90. “standard test – methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures” y de los métodos de referencia 2540B y 2540E según el standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 1998). Por último, el parámetro de relación carbono/nitrógeno fue analizado por laboratorio de Suelo, Plantas, Agua y Fertilizantes (Laboratorio LASPAF).

a. Humedad

Para determinar el porcentaje de humedad, primeramente, se tomó el peso del crisol, luego se añadió 4.97 g de estiércol vacuno en el crisol, luego la muestra con el crisol se introdujo a una estufa a 105 °C por espacio de 24 horas, al término de este tiempo se

retiró el crisol y se colocó en un desecador hasta que alcance la temperatura ambiente. Luego se registró el peso final del crisol. El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{Mcmh - Mcms}{Mm}$$

Donde:

%H: Porcentaje de Humedad

Mcmh: Masa de crisol con muestra húmeda

Mcms: Masa de crisol con muestra seca

Mm: Masa de la muestra húmeda

b. Sólidos totales (ST)

Para el análisis de este parámetro se realizaron cuatro pesadas las cuales se mencionan a continuación:

- Pesado de la cápsula de porcelana (W1)
- Pesado de la cápsula de porcelana con la muestra fresca de estiércol (W2)
- Pesado de la cápsula de porcelana con la muestra de estiércol después de haberlas sometido a 105 °C durante 24 horas (W3)
- Pesado de la cápsula de porcelana con la muestra después de haberlas sometido a 550 °C durante una hora (W4)

Se determinó los porcentajes de ST usando las siguientes expresiones:

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

Dónde:

ST (%): Porcentaje de sólidos totales

c. Determinación de la relación C/N

Este análisis fue realizado por el Laboratorio de Suelo, Plantas, Agua y Fertilizantes (Laboratorio LASPAF).

B. Análisis de la relación C/N del cartucho

El cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) fue usado para realizar el cargado a los biodigestores batch que fueron simulados en laboratorio, para la realización del cargado se tiene que asegurar que la relación Carbono: Nitrógeno de la mezcla del estiércol y cartucho se encuentre en el rango de 20:1 a 30:1 como lo menciona Quipuzco (2016), para ello se mandó a realizar el análisis al laboratorio de Suelo, Plantas, Agua y Fertilizantes (Laboratorio LASPAF).

C. Análisis de agua

Para determinar el análisis de calidad de agua, se llevó una muestra de 1 litro al laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego (Laboratorio LASPAF), la finalidad fue observar si presentaba parámetros inhibidores de la digestión anaerobia.

3.3.3 Producción de microorganismos benéficos

Meza (2017) indica que para la producción de microorganismo benéficos se debe de respetar la proporción de insumos, ya que estos son importantes para que haya una buena proliferación de microorganismos, a continuación, se describe el procedimiento para la producción de estos microorganismos.

A. Procedimiento

En primer lugar, se acondiciono un bidón con una capacidad mayor a 20 litros, luego se procedió a recolectar insumos del anexo de Soca – distrito de Matucana, tales como el residuo de cartucho y la ortiga (se escogieron estas plantas por la abundancia en la zona), ambas plantas se picaron en pequeños trozos con ayuda de tijeras y cuchillos, luego se vaciaron al bidón, además se agregó hígado que previamente ha sido picado en pequeños trozos y por último, se agregó el azúcar, agua y la sal. El preparado final se homogenizo y fue tapado herméticamente.

A continuación, en la Figura 8 se observa la elaboración de los microorganismos benéficos.



Figura 8: Preparación de microorganismos benéficos.

a) Picado del cartucho y ortiga; b) Preparado de microorganismos benéficos, el cual contiene hígado, sal, azúcar y agua; y c) Microorganismos benéficos listos para ser usados.

Al preparado de MB, se le controló el pH diariamente por un mes para verificar su reducción hasta valores menores a 4 ya que conforme a Madigan *et al.* (2004) citado por Cárdenas (2012) el pH favorable para la proliferación de *lactobacillus* es el 4, ya que es capaz de crecer óptimamente en este medio, además la producción de ácido láctico inhibe el crecimiento de bacterias patógenas.

Al finalizar la producción de los MB, se llevó una muestra de 500 ml al laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso". Este análisis nos indicara que tipo de microorganismos benéficos se encuentran en predominancia en nuestro preparado.

3.3.4 Pretratamiento con la técnica de bokashi

El pretratamiento con la técnica de bokashi, se realizó en las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental, para ello se recolecto muestras de estiércol de ganado vacuno y residuo de Cartucho, en la Figura 9 se observa la recolección de estiércol para la preparación de los abonos bokashi.



Figura 9: Recolección de estiércol.

Se desarrollaron dos pretratamientos los cuales son explicados a continuación:

- El pretratamiento 1 se realizó solo al estiércol de ganado vacuno, y para ello se usaron tres métodos distintos, cabe resaltar que cada método tuvo una repetición por triplicado y la distinción entre cada método fue por la dosis de microorganismos benéficos aplicado ya que la cantidad de estiércol y azúcar fue similar en los tres métodos con valores de

500g y 40 g respectivamente, por otro lado, la dosis microorganismo benéfico se calculó en base al peso del estiércol, a continuación en la Tabla 11 se describen los métodos del pretratamiento 1.

Tabla 11: Métodos del pretratamiento 1.

Método de pretratamiento
Método 1: MB 10% (50 ml)
Método 2: MB 20% (100 ml)
Método 3: MB 30% (150 ml)

- El Pretratamiento 2 se realizó a la mezcla de estiércol vacuno con residuos de cartucho, para ello se trabajó con una relación de C/N de 20 de la mezcla (para ello se siguió el procedimiento descrito en el ítem 2.6.2.c). Para la realización de este pretratamiento se usaron tres métodos distintos y cabe resaltar que cada método se repitió por triplicado y la distinción entre cada método fue por la dosis de microorganismos benéficos aplicado, ya que la cantidad de estiércol, cartucho y azúcar fue similar en los tres métodos con valores de 500g, 62.5g y 40 g respectivamente, por otro lado, la dosis microorganismos benéficos se calculó en base al peso del estiércol más el cartucho, a continuación en la Tabla 12 se describen los métodos del pretratamiento 2.

Tabla 12: Métodos del pretratamiento 2.

Descripción del Método
Método 1: MB 10% (56.3 ml)
Método 2: MB 20% (112.5 ml)
Método 3: MB 30% (168.8 ml)

En la Figura 10 se puede apreciar la elaboración del pretratamiento tipo abono bokashi.



Figura 10: Elaboración del pretratamiento tipo abono bokashi.

a) Elaboración del primer pretratamiento (estiércol, azúcar y MB); b) Elaboración del segundo pretratamiento (estiércol, cartucho, azúcar y MB); y c) Muestra de los dos pre tratamientos con sus respectivas repeticiones.

El pretratamiento se realizó en un lapso de 10 días, investigaciones anteriores como la de Valdez (2016) menciona que el pretratamiento debe durar un tiempo de 7 días con la finalidad de no reducir la relación C/N del sustrato; sin embargo, en la presente investigación se pretrató durante 10 días con la finalidad que se degrade la mayor cantidad fibra lignocelulósica.

A. Medición del pH y porcentaje de acidez titulable.

El pH y la acidez láctica de los pretratamientos se determinaron en los días 0, 5 y 10, y la forma en la que se determinaron estos parámetros se muestran en los párrafos siguientes.

- pH: Para su medición se sustrajo una muestra de 10 g de los pretratamientos y se diluyó en 100 ml de agua destilada, luego se procedió a agitar durante 15 minutos, finalizado la agitación se dejó reposar durante 15 minutos y se procedió a medir el pH, este análisis se realizó en los días 0, 5 y 10 de haber iniciado el tratamiento con la técnica de bokashi., en la Figura 11 se muestra la medición del pH en laboratorio.



Figura 11: Medición de pH de los pretratamientos.

a) Sustracción de 10g de muestra para su dilución en agua destilada; b) Agitación magnética del preparado; y c) Medición del pH de los abonos bokashi.

- Porcentaje de Acidez Titulable: La medición del porcentaje de acidez titulable (o acidez libre) se realizó en concordancia con los principios del método estandarizado 942.15 (AOAC 2007), establecido por la Asociación Oficial de Químicos Analistas (Herrera, 2017), siendo adaptado para el tipo de muestra a analizar. Para su medición se sustrajo una muestra de 10 ml del preparado que se hizo para medir el pH, luego se diluyó en 50 ml de agua destilada. En agitación se procedió a titular con NaOH 0,1N hasta llegar a un pH de 8.1 ± 0.2 , a continuación, se muestra la fórmula que se usó para hallar el porcentaje

de ácido láctico, esta fórmula expresa los gramos de ácido láctico por 100 gramos de producto.

$$\% \text{ de ácido láctico tituable} = \frac{G \times N \times 0.090 \times 100}{m}$$

Donde:

G: gasto de NaOH (ml)

N: normalidad del NaOH

M: masa de la muestra (g)

0.090: factor de conversión

En la Figura 12 se muestra la titulación realizada en laboratorio, el cual fue indispensable para poder elegir nuestro mejor método de pretratamiento.



Figura 12: Medición del porcentaje de acidez tituable.

B. Análisis estadístico

Para probar los datos de acidez láctica estadísticamente de los dos pretratamientos se planteó un diseño completamente al azar (DCA), para ello cada pretratamiento tuvo tres tipos de métodos y cada método tuvo tres repeticiones.

Para la validación estadística de los datos y la comparación de los diferentes métodos de cada pretratamiento se realizó el Análisis de varianza (ANOVA) y se verificó el supuesto de normalidad de errores y el supuesto de homogeneidad de varianza. Todo el análisis estadístico se hizo con el software MINITAB 18.1.

3.3.5 Carga de los biodigestores batch

A continuación, se detalla los cálculos que se realizaron para poder llevar a cabo el cargado en los biodigestores tipo batch,

A. Cálculo de la carga de los biodigestores

Se utilizó el porcentaje de materia seca para estimar la carga del sustrato para cada biodigestor como sugiere Valdez (2016). Así mismo, se ha estimado la cantidad de material orgánico para cada biodigestor, tomando en cuenta un porcentaje del 5 por ciento para los sólidos contenidos en el biodigestor, ya que según Quipuzco (2016), este porcentaje debe estar en un rango entre 5 a 10 por ciento.

A continuación, la siguiente fórmula permite calcular la cantidad de sustrato necesario para obtener el porcentaje de sólido deseado. (Schlaefli, 2010).

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

Donde:

ST: Representa la cantidad de materia seca que ingresará al biodigestor batch, para ello se trabajó con un 5 por ciento de sólidos totales.

Para el cálculo del ST se aplicó la siguiente fórmula.

$$\text{ST} = \text{Volumen útil del biodigestor} \times 5\%$$

El porcentaje de materia seca se calculó mediante la siguiente formula.

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

El cargado en biodigestores batch hechos en laboratorio consta de 4 mezclas, los cuales se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13:Tipos de mezclas.

NÚMERO DE MEZCLA	DESCRIPCIÓN
Mezcla 1 (Control)	Estiércol + agua
Mezcla 2	Pretratamiento 1 + agua
Mezcla 3	Estiércol + cartucho + agua
Mezcla 4	Pretratamiento 2 + agua

B. Cargado de los biodigestores

La realización del cargado se dio luego de obtener el peso de cada mezcla que ingresó a los biodigestores Batch. El biodigestor en laboratorio fue simulado en frascos de 1 litro, sin embargo, cada frasco poseía un volumen total de 1.1 litro al ser enrasado hasta el tope, por consiguiente, se trabajó con este último volumen.

Se dejó un volumen extra del 20 por ciento para que se pueda almacenar gas, además el volumen útil que se tomó para cargar el reactor con la mezcla de sustrato y agua fue del 80 por ciento del volumen total teniendo un volumen útil de 880 ml. Para la realización del cargado los biodigestores batch fueron rotulados con la finalidad de distinguir los cuatro tipos de mezclas y sus respectivas repeticiones.

Las mezclas realizadas fueron pesadas en una balanza analítica, luego se introdujeron en los frascos de 1.1 litro que simularon al reactor, luego a cada reactor se le añadió 88 ml de inóculo (10 por ciento del volumen útil del reactor) y finalmente se enraso con agua de arroyo hasta los 880 ml, luego a todos los biodigestores batch se les midió el pH. Finalizado la medición, se sellaron con los precintos y la silicona líquida a los reactores de las mezclas 1 y 3; sin embargo, para las mezclas 2 y 4 el sellado se dio 10 días después de su preparación debido a que se encalo con cal agrícola para estabilizar su pH, ya que las bacterias ácido lácticas propias del

pretratamiento realizado acidificaban el medio, es por ello que se encaló durante este periodo hasta obtener el pH en un rango de 6.5 a 7.5. Por último, se sumergió los biodigestores dentro del equipo de baño a una temperatura de 30°C, luego se llenó de agua destilada al equipo hasta el ras.

El proceso de biodigestión tuvo una duración de 61 días a continuación, en la Figura 13 se muestra la instalación de los reactores al baño maría.



Figura 13: Cargado de los reactores en baño maría.

3.3.6 Levantamiento de datos y toma de muestras de los biodigestores batch

Los datos que se midieron fueron el volumen de metano, volumen de biogás y el análisis de nutrientes del biol. Así mismo, los parámetros de pH y temperatura no fueron posible evaluarlos durante todo el proceso de biodigestión, debido a que es un sistema batch sellado herméticamente; sin embargo, aunque la temperatura no fue posible medirla directamente, los biodigestores se localizaban en un medio regulado por el equipo de baño maría a una temperatura de 30 °C.

A. Volumen de metano y biogás

El volumen de metano y biogás fue medido en probetas de 100 ml, ya que el gas producido en los reactores batch desplazaban un cierto volumen de agua, lo cual indicaba el volumen de gas generado en el reactor. El volumen fue registrado diariamente en un computador para su análisis posterior.

El volumen de agua que se empleó inicialmente en un frasco contiguo al del reactor (ver Figura 13), fue menor al volumen de biogás total producido, es por ello por lo que se inyectó agua ácida continuamente dependiendo de la cantidad desplazada.

Según Drosig *et al* (2013) el proceso de producción de los gases en los reactores batch debería concluir cuando la producción diaria de gas es menor al 1 por ciento del volumen total, sin embargo, en la presente investigación el volumen de biogás y metano fueron medidos durante 61 días, esto es debido a que la producción de biogás continuaba en los reactores, así mismo se sabe que una digestión aceptable en los reactores batch tiene un lapso de tiempo de 60 días como lo menciona Quipuzco (2016).

Por último, los volúmenes medidos tanto al biogás y metano fueron transformados a Condiciones Normales (CN) es decir a 0 °C y 760 mm Hg. El volumen de biogás seco se medirá restando el contenido de vapor de agua en el biogás producido a partir del volumen bruto del biogás mediante el uso de la siguiente ecuación de gases ideales, de acuerdo a la guía VDI 4630, 2006 – Procedimiento Estándar de Alemania (Nusrat y Dido, citado por Valdez 2016).

$$V_0 = \frac{V \cdot (760 - P_w) \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

Dónde:

V₀: Volumen de gas medido a temperatura y presión estándar.

P₀: presión a condiciones normales (760 mm Hg).

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

T: Temperatura ambiente (°K).

T₀: Temperatura a condiciones normales (273°K).

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

B. Análisis de nutrientes del biol

Para realizar este análisis, el biol fue recolectado en botellas de primer uso, para ello se añadió un volumen de 400 ml de biol a cada botella (ver Figura 14). El análisis de nutrientes fue realizado por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes – LASPAF (UNALM).



Figura 14: Recolección de muestras de biol en frascos de prime uso.

C. Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis del volumen de biogás, volumen de metano y calidad de biogás fue un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 4 tratamientos y 2 repeticiones para cada tratamiento. Para el análisis de los nutrientes del biol, se planteó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones.

Para la validación estadística de los datos se utilizaron el Coeficiente de Variabilidad (CV), el Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de Dunnet para las comparaciones de los tratamientos. Por otro lado, Valdez (2016), menciona que un valor de 0 por ciento para el coeficiente de variabilidad indica que las muestras fueron homogéneas, sin embargo, se tiene un rango aceptable cuando este valor oscila entre 0 y 30 por ciento para pruebas de laboratorio. Por último, todo el análisis estadístico se hizo con el software MINITAB 18.1.

3.4.7 Fase de campo - biodigestor tubular

El mejor tratamiento obtenido en laboratorio se escaló en un biodigestor tubular de 10 m³ que se tiene instalado en el anexo de Soca, en Matucana. El mejor tratamiento en laboratorio se obtuvo en base a parámetros de calidad del biogás, volumen de biogás y análisis de nutrientes del biol; por otro parte, para generar data se dividió esta etapa en dos fases, los cuales son mencionado a continuación.

A. Fase 1: Esta fase comprende el cargado del biodigestor solo con estiércol vacuno, para ello se realizó el cargado una vez por semana durante el periodo de un mes, se consideró este tiempo debido a que el biodigestor ya venía funcionando previamente, por lo cual este periodo de tiempo sirvió para registrar los parámetros de composición del biogás. A continuación, se muestra la cantidad de sustrato usado para realizar el cargado al biodigestor.

Estiércol = 200 Kg

Agua de riachuelo = 800 L

Volumen Final = 1m³

Por otro lado, el monitoreo del biogás se hizo de manera inter diaria con la finalidad de observar la composición del biogás cuando el cargado del biodigestor es solo con estiércol. Así mismo se hizo un análisis microbiológico a la primera mezcla que ingresa al biodigestor es decir el biol que aún no realiza el proceso de biodigestión en el biorreactor, la finalidad fue observar como disminuyen estos parámetros microbiológicos luego del proceso de biodigestión de la fase 2. Finalmente se realizó un análisis de nutrientes al biol que ya completo su proceso de biodigestión, la finalidad de este análisis fue observar si existe una variabilidad respecto a los nutrientes de la Fase 2.

B. Fase 2: Esta fase comprende el cargado del biodigestor con el mejor tratamiento encontrado en laboratorio. Tanto el cargado como el monitoreo se realizó de manera similar a la fase 1, Martí *et al.*, (2018) menciona que el tiempo de retención en un biodigestor tubular se calcula dividiendo el volumen líquido del biodigestor entre la carga realizada, y considera al volumen líquido el 80 por ciento del volumen total del

biodigestor, es por ello por lo que este volumen es de 8 m³, según esta referencia se procedió hallar el tiempo de retención en el biodigestor tubular.

$$\textit{Tiempo de retención} = \frac{8m^3}{\frac{1m^3}{\textit{semana}}}$$

$$\textit{Tiempo de retención} = 8 \textit{ semanas}$$

El tiempo de retención de 8 semanas, indica que la carga que se realiza el primer día saldrá del biodigestor recién ocho semanas después, es por ello que el monitoreo y cargado en esta fase comprende el tiempo de dos meses. Por otro lado, se realizó un análisis al biol – IG que se obtuvo luego del proceso de biodigestión referente a los parámetros microbiológicos y de nutrientes, la finalidad fue comparar con el biol de la fase 1.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del análisis de estiércol vacuno, cartucho y agua.

Para el cargado de los biodigestores, es importante saber qué características presentan las materias primas que serán usadas como sustrato. Es por ello que se realizó un análisis de la relación carbono/nitrógeno al estiércol vacuno (ver Anexo 1) y al cartucho (ver Anexo 2), ya que este análisis es importante debido a que es uno de los indicadores que asegura una buena producción de biogás. A continuación, en el Tablas 14 se muestra el análisis de relación carbono/nitrógeno del estiércol de vacuno y del cartucho.

Tabla 14: Relación carbono/nitrógeno del estiércol vacuno y cartucho

Sustrato	R: C/N	%C	%N
Estiércol	21.40	37.67	1.76
Cartucho	14.06	46.83	3.33

FUENTE: Laboratorio LASPAF

La relación C/N del estiércol se encuentra en el rango estimado por Verner (2011), sin embargo, para el cartucho, no sucede lo mismo, es por ello por lo que existe la necesidad de mezclar este insumo con otro sustrato para obtener una relación C/N dentro del rango estimado (20:1 a 30:1). Por otro lado, los valores dados para el estiércol vacuno indican que las bacterias metanogénicas del proceso de digestión anaerobia, no se inhibirán ya que tendrán suficientes nutrientes para desarrollar eficientemente la etapa de metanogénesis.

De igual manera se realizó un análisis fisicoquímico en el laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego (LASMAF) al agua del arroyo que se encuentra ubicado en el Anexo de Soca. La finalidad de este análisis fue corroborar la inexistencia de sustancias inhibidoras del proceso de digestión anaerobia, los resultados se muestran en el Anexo 3 y en la Tabla 15 que se muestra a continuación.

Tabla 15: Resultados del análisis de agua.

Calidad del agua			ECA - Agua (Categoría 3)	
Parámetro	Unidad	Valor	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Conductividad Eléctrica	dS/m	0.73	0.025	0.05
pH	-	8.16	6.5 a 8.5	6.5 a 8.4
Calcio	meq/l	4.82	-	-
Magnesio	meq/l	0.92	-	250
Sodio	meq/l	1.44	-	-
Potasio	meq/l	0.08	-	-
SUMA DE CATIONES		7.26		
Cloruro	meq/l	2.39	500	-
Sulfato	meq/l	1.5	1000	1000
Bicarbonato	meq/l	3.09	518	-
Nitratos	meq/l	0.05	-	-
Carbonatos	meq/l	0.38	-	
SUMA DE ANIONES		7.41		
SAR		0.85	-	-
CLASIFICACIÓN		C2-S1		
Boro	Ppm	0.72	1	5
Dureza total	mgCaCO ₃ /l	286.44	-	-
Alcalinidad Total	mgCaCO ₃ /l	154.45	-	-
Sólidos Suspendidos	mg/l	11	-	-
Hierro	mg/l	0.23	5	-
Cobre	mg/l	<0.035	0.2	0.5
Zinc	mg/l	<0.012	2	24

“Continuación”

Manganeso	mg/l	0.04	0.2	0.2
Plomo	mg/l	<0.001	0.05	0.05
Cadmio	mg/l	<0.005	0.01	0.05
Cromo	mg/l	<0.05	0.1	1
Turbidez	NTU	8.5	-	-

FUENTE: Laboratorio LASMAF

A los parámetros analizados en el laboratorio LASMAF, se les realizó una comparación con el Estándar de Calidad Ambiental de Agua (ECA Agua – DS N° 004-2017- MINAM) para la categoría 3. Los resultados indican que los parámetros analizados no sobrepasan los valores dados por el ECA- Agua, por otro lado las características del agua indican que son de calidad buena para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal, así mismo se observa que en base a la concentración mg/l CaCO₃, el agua es de tipo dura, según el Organismo Mundial de la Salud (Guía para la calidad de agua potable – OMS, 2005) es agua dura si sobrepasa los 200 mg/l CaCO₃.

Referente a los parámetros inhibidores de la digestión anaerobia, las concentraciones de cobre y níquel se encuentran muy por debajo de la concentración inhibidora de la digestión anaerobia, es por ello por lo que el uso de este insumo nos asegura un correcto funcionamiento de los biodigestores.

4.2 Resultados de la elaboración de microorganismos benéficos (MB)

En la elaboración de los microorganismos benéficos, se registró valores de pH por un periodo de 30 días (ver Anexo 4), así mismo, en la Figura 15 se presenta el monitoreo de pH realizado al cultivo de microorganismos benéficos y se observa que el valor de pH presenta un descenso de más de tres unidades al día 15, sin embargo, a partir de ese día hasta el día 30, el valor de pH estuvo estable con valores cercanos a 3.6, lo cual indico que nuestro preparado de microorganismos benéficos están listos para usarse.

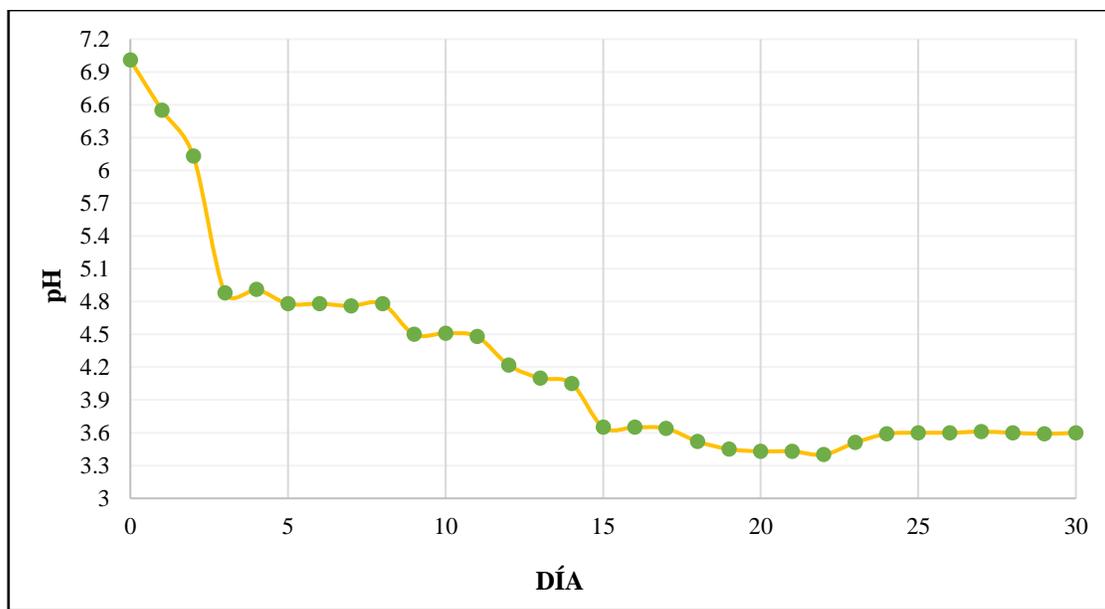


Figura 15: Comportamiento del pH de los microorganismos benéficos.

El análisis realizado por Álvarez (2018) refiere que <<el pH no depende de la especie vegetal, sino más bien de la flora microbiana presente en los diferentes consorcios>>, según este análisis la flora microbiana presente en nuestro preparado de microorganismos benéficos hizo descender el pH a valores cercanos a 3.6 en el día 15, evidenciándose una reducción de más de 3 unidades respecto al día 1.

Madigan *et al.*, (2004), mencionan que << cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual es posible su crecimiento y normalmente posee un pH óptimo bien definido >>, es por ello que se debe tener en cuenta el mantenimiento del pH para una buena proliferación de los microorganismos que ya tienen definido un rango de pH, en consecuencia, nuestro preparado de microorganismos benéficos al tener un pH estable en valores cercanos a 3.6, según Madigan *et al.*, citado por Cárdenas (2012) <<es beneficioso para la predominancia de bacterias ácido lácticas >>, estas bacterias son las encargadas de la degradación de la fibra lignocelulósica que está presente en el estiércol y en los residuos vegetales. Es por ello que los resultados obtenidos sugieren que los valores bajos de pH advierten la presencia de bacterias ácido lácticas.

El descenso en el valor de pH, en nuestro medio de cultivo hasta valores menores a 4, conforme a Álvarez (2018) << posiblemente sea por la liberación de ácidos orgánicos de cadena corta >>

y según los resultados obtenidos por el laboratorio Marino Tabusso (ver Anexo 5), se tiene un recuento de lactobacillus con un valor de 32×10^5 UFC/ml y estos al ser los principales microorganismos que conforman las bacterias lácticas, se encuentran produciendo ácido láctico que produce un descenso en los valores del pH y genera una mayor degradación de la fibra lignocelulósica.

Una vez finalizado la preparación de los microorganismos benéficos, se tomó una muestra de 500 ml y se mandó a realizar un análisis de conteo de microorganismos al laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”, la Tabla 16 muestra los resultados obtenido en laboratorio, donde se aprecia una gran cantidad de bacterias anaerobias, lactobacillus y mohos - levaduras. En el Anexo 5, se aprecia los resultados otorgados por el laboratorio.

Tabla 16: Resultados del conteo de microorganismos benéficos.

Análisis Microbiológico	Número (UFC/ml)
Recuento de mohos y levaduras	11×10^5
Recuento de <i>Lactobacillus sp.</i>	32×10^5
Recuento de anaeróbios	20×10^3

FUENTE: Laboratorio Marino Tabusso.

A continuación, en la Tabla 17 se muestra una comparación de las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus sp.*) con otras investigaciones y con productos comerciales.

Tabla 17: Comparación de la composición de bacterias ácido lácticas.

Parámetro	TESIS (UFC/ml)	Investigaciones		Productos comerciales ^(a)		
		Hoyos <i>et al.</i> , 2008 ^(a) (UFC/ml)	Torres, 2013 (UFC/ml)	EM-Integral Plus ® (UFC/ml)	EM® (UFC/ml)	EM-Integrado (UFC/ml)
Bacterias lácticas	32×10^5	1×10^3	54×10^4	1×10^4	1×10^4	1×10^4

(a) Citado por Cárdenas, 2012.

En la Tabla anterior se aprecia que el preparado de microorganismos benéficos con residuos de cartucho y ortiga presenta una mayor cantidad de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus sp.*) en comparación a las demás investigaciones, lo cual es beneficioso para el pretratamiento de el estiércol y cartucho con la técnica de bokashi ya que según Kyan *et al* (1999) una alta producción de lactobacillus degrada una mayor cantidad de fibra lignocelulósica presente en el estiércol vacuno. Por otro lado, nuestro preparado al tener una mayor cantidad de bacterias ácido lácticas presenta una mayor capacidad de suprimir los microorganismos patógenos, ya que según Meza (2017) las bacterias ácido lácticas son fuertes seleccionadores e inhibidores de microorganismos patógenos.

4.3. Resultados de la medición de pH y acidez láctica de los abonos bokashi

El pretratamiento con la técnica de bokashi, se realizó de dos maneras, la primera se realizó cuando al estiércol se le agregó microorganismos benéficos en tres diferentes dosis con tres repeticiones por cada dosis, como se muestra en el ítem 4.3.1; y la segunda se realizó cuando a la mezcla de estiércol y cartucho se le agregaron microorganismos benéficos en tres diferentes dosis con tres repeticiones por cada dosis, como se muestra en el ítem 4.3.2; sin embargo, esta última se mezcló de tal manera que su relación C/N sea de 20, el cual se encuentra en un rango aceptable para la producción de biogás, como lo menciona Quipuzco (2016). A continuación, se muestra los resultados de los pretratamientos realizados y las diferentes concentraciones que se usaron de microorganismos benéficos.

4.3.1 Pretratamiento 1

Se evaluaron tres tipos de métodos de pretratamiento, estos métodos tuvieron una repetición por triplicado, así mismo, la distinción entre cada método fue por la dosis de microorganismos benéficos (MB) aplicado (10%, 20% y 30%), además el insumo de estiércol y azúcar fue similar para los tres métodos con valores de 500g y 40g respectivamente. Cabe señalar que la dosis aplicada de MB fue referente al peso del estiércol.

En la Tabla 18 se muestran los resultados de medir el pH y la acidez láctica al día 0, 5 y 10 de los tres métodos.

Tabla 18: Medición de acidez láctica y pH en el pretratamiento 1.

Método y Repetición	Estiércol + MB + azúcar (día 0)		Estiércol + MB + azúcar (día 5)			Estiércol + MB + azúcar (día 10)		
	pH	% Acidez láctica	pH	Gasto de NaOH (ml)	% Acidez láctica	pH	Gasto de NaOH (ml)	% Acidez láctica
M1 – R1	7.74	-	4.28	1.30	0.117	4.01	2.00	0.180
M1 – R2	7.79	-	4.17	1.30	0.117	4.03	1.90	0.171
M1 – R3	7.88	-	4.36	1.25	0.113	4.06	1.95	0.176
M2 – R1	7.74	-	4.08	1.50	0.135	4.15	2.35	0.212
M2 – R2	7.68	-	4.09	1.60	0.144	3.94	2.40	0.216
M2 – R3	7.90	-	4.11	1.60	0.144	3.95	2.50	0.225
M3 – R1	7.64	-	4.04	1.90	0.171	3.99	2.45	0.221
M3 – R2	7.68	-	4.04	1.80	0.162	3.94	2.50	0.225
M3 – R3	7.55	-	4.03	1.90	0.171	3.97	2.40	0.216

Como se muestra en la Tabla 18, al día cero no se realizó la medición de acidez láctica debido a que los valores de pH de todos los pretratamientos fueron muy cercanos a 8, y al realizar la titulación con NaOH 0.1N para determinar el porcentaje de acidez láctica no se apreciaba ningún gasto de este; sin embargo, para los días 5 y 10 al realizar las mediciones de pH, los valores registrados estuvieron por debajo de 4, es por ello que en estos días si se tituló con NaOH para determinar el porcentaje de acidez láctica que presenta cada pretratamiento.

En la Figura 16, se muestran los porcentajes de acidez láctica, de los promedios de los tres métodos aplicados. Para ello, se hicieron mediciones en los días 0, 5 y 10 de haber realizado el pretratamiento con microorganismos benéficos.

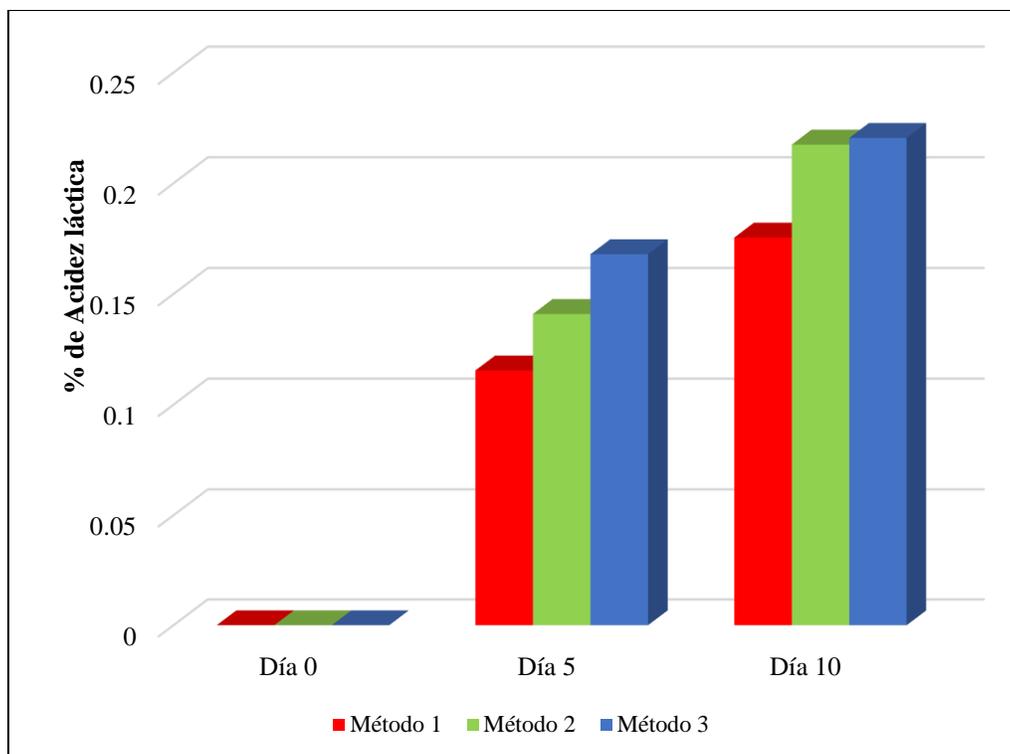


Figura 16: Promedio de acidez láctica de los métodos aplicados – pretratamiento 1.

Madigan *et al.* (2004), menciona que <<cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual es posible el crecimiento y normalmente posee un pH óptimo bien definido>>, en consecuencia, el valor final de pH para los tres métodos nos indica que es beneficioso para la degradación de la fibra lignocelulósica por parte de las bacterias ácido lácticas, ya que habrá una buena proliferación de *lactobacillus*, como lo menciona Madigan *et al*, citado por Cárdenas (2012), así mismo entre las funciones que tiene las bacterias ácido lácticas se encuentra la de producir sustancias antagónicas, que produce la esterilización del sustrato en el que se encuentra (Meza, 2017), y según lo mencionado anteriormente, se sugiere que la aplicación de MB al estiércol, redujo la presencia de microorganismos patógenos y realizó una degradación más efectiva de la fibra lignocelulósica

La elección del método más adecuado se realizó en base al mayor porcentaje de acidez láctica que presenta cada método al día 10, para ello en el Anexo 6 se muestra el análisis estadístico que indica que el método 2 y 3 presentan mayor porcentaje de acidez láctica frente al método 1; sin embargo, el método 2 y 3 no son significativamente diferentes, es decir sus porcentajes de acidez láctica son muy parecidos. Para la elección del mejor método se tomó en consideración

los costos económicos que conllevan elaborarlos, para ello el método 2 es el que usa una menor cantidad de microorganismos benéficos lo cual hace que su costo de elaboración sea inferior al método 3, es por eso que el método elegido del primer pretratamiento es el método 2.

4.3.2 Pretratamiento 2

Se evaluaron tres tipos de métodos de pretratamiento, y cada uno de estos métodos tuvieron una repetición por triplicado, así mismo la distinción entre cada método fue por la dosis de microorganismos benéficos (MB) aplicado (10%, 20% y 30%), además el insumo de estiércol, cartucho y azúcar fue similar para los tres métodos con valores de 500g, 62.5 g y 40g respectivamente. Cabe señalar que la dosis aplicada de MB fue referente al peso del estiércol más el cartucho.

En la Tabla 19 se muestran los resultados de medir el pH y la acidez láctica al día 0, 5 y 10 de los tres métodos.

Tabla 19: Medición de acidez láctica y pH – pretratamiento 2.

Método y Repetición	Estiércol + MB + Cartucho + Azúcar (día 0)		Estiércol + MB + Cartucho + Azúcar (día 5)			Estiércol + MB + Cartucho + Azúcar (día 10)		
	pH	% Acidez láctica	pH	Gasto de NaOH (ml)	% Acidez láctica	pH	Gasto de NaOH (ml)	% Acidez láctica
M1-R1	7.73	-	4.16	1.70	0.153	3.93	2.30	0.207
M1-R2	7.67	-	4.14	1.60	0.144	3.91	2.30	0.207
M1-R3	7.69	-	4.08	1.70	0.153	3.90	2.45	0.221
M2-R1	7.45	-	3.96	2.00	0.180	3.84	2.60	0.234
M2-R2	7.43	-	3.98	2.10	0.189	3.87	2.65	0.239
M2-R3	7.43	-	3.90	2.15	0.194	3.84	2.60	0.234
M3-R1	7.49	-	3.95	2.15	0.194	3.88	2.55	0.230
M3-R2	7.42	-	4.00	1.90	0.171	3.83	2.70	0.243
M3-R3	7.38	-	3.91	2.30	0.207	3.83	2.75	0.248

En la Figura 17, se muestra los promedios de los porcentajes de acidez láctica de los distintos métodos aplicados. Al día 0 no se midió acidez láctica, debido a que el pH tuvo valores cercanos a 8 y por ende al igual que en el pretratamiento 1, no se evidenció ningún gasto de NaOH 0.1N en la titulación para medir acidez láctica; sin embargo, para el día 5 y 10 se pudo realizar esta medición ya que el pH se encontraba en rangos muy cercano a 4, lo cual es beneficioso para la proliferación de *Lactobacillus*, haciendo que los abonos bokashi tengan menor cantidad de microorganismos patógenos producto de las bacterias del ácido láctico ya que estas producen compuestos antagónicos suprimiendo los microorganismos patógenos.

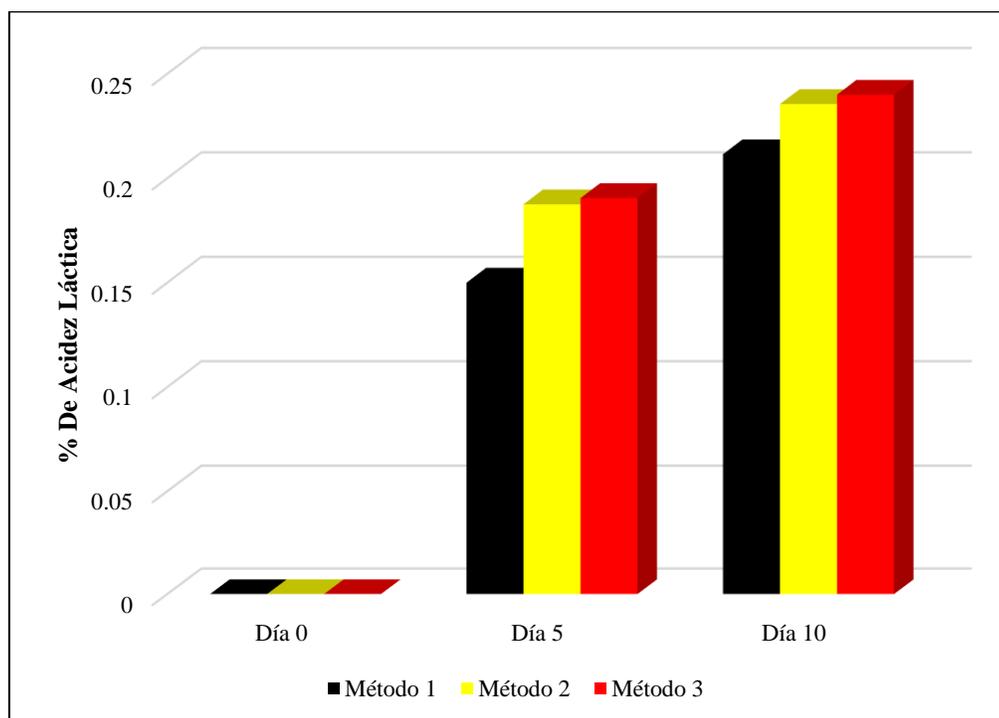


Figura 17: Promedio de acidez láctica de los métodos aplicados – pretratamiento 2.

La elección del método más adecuado se realizó en base al mayor porcentaje de acidez láctica que presenta cada método al día 10, para ello en el Anexo 7 se muestra el análisis estadístico, que indica que el método 2 y 3 presentan mayor porcentaje de acidez láctica frente al método 1; sin embargo, el método 2 y 3 no son significativamente diferentes, es decir sus porcentajes de acidez láctica son muy parecidos. Para la elección del mejor método se tomó en consideración los costos económicos que conllevan elaborarlos, para ello el método 2 es el que usa una menor cantidad de microorganismos benéficos (20 por ciento) lo cual hace que su costo de elaboración

se inferior al método 3, es por eso que el método elegido del segundo pretratamiento es el método 2.

A continuación, en la Tabla 20 se hace una comparación del porcentaje de acidez láctica con otras investigaciones.

Tabla 20: Comparación de acidez láctica con otras investigaciones.

Investigaciones	Insumos	Día de medición	% A. L
Pretratamiento 1	Estiércol + MB (20%) + azúcar (8%)	10	0.22
Pretratamiento 2	Estiércol + cartucho + MB (20%) + azúcar (8%)	10	0.23
Meza (2014) ¹	Papas de descarte + B-lac (5%) + melaza (20%)	5	3.04
Herrera (2017) ²	Residuo de fresa+ B-lac (5%) + melaza (5%)	10	0.79
Fernández (2018) ³	Residuos de lisa + B-lac (5%) + melaza (15%)	10	3.92

1 combinación óptima por presentar valores adecuados de pH y acidez láctica para la producción de papa-biol.

2 combinación óptima para la preparación de abono líquido.

3 combinación adecuada para producir bokashi biológico de lisa.

Como se aprecia en la Tabla 20, el porcentaje de acidez láctica de los dos pretratamientos que se registraron en la presente investigación, presentan valores por debajo de las demás investigaciones. Estos valores bajos, posiblemente se deban a que en las tres investigaciones se usaron dos insumos diferentes como lo son la melaza y el B-lac, Fernández (2014), menciona que el B-lac <<es un consorcio microbiano de bacterias ácido lácticas desarrollado por el Laboratorio de Biotecnología Ambiental - Biorremediación perteneciente a la Facultad de Ciencias de la UNALM >>, al ser un producto desarrollado por laboratorio presenta características mejoradas, ya que según Meza (2014) el B-lac está compuesto por <<bacterias probióticas, ácidos orgánicos como el ácido láctico, bacteriocinas, vitaminas del complejo B, microorganismos aerobios viables y sustancias precursoras de compuestos asimilables por las plantas.>>, así mismo, el análisis microbiológico del B-lac, menciona que está elaborado principalmente a base de cepas seleccionadas de bacterias del género *Lactobacillus* (7×10^7 UFC/ml). Por otro lado, la melaza según Fernández (2018), es el efluente final obtenido en la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida, y que su composición es heterogénea y puede variar dependiendo de la variedad de caña de azúcar, suelo, clima y otros, al ser usada para la producción de ácido láctico su composición es de sacarosa (31% p/v), glucosa (9,5% p/v), fructosa (10%) y nitrógeno (0,95%).

Por lo expuesto anteriormente, se sugiere que los valores bajos de acidez láctica de la presente investigación para los dos pretratamientos, posiblemente sea porque el B-lac presenta una mayor concentración de *lactobacillus* (7×10^7 UFC/ml) en comparación al preparado de microorganismos benéficos de la presente investigación (32×10^5 UFC/ml), así mismo, la fuente de energía para la proliferación de las bacterias lácticas viene hacer la melaza o el azúcar, y se sugiere que la melaza es un mejor insumo para que se de esta proliferación, produciendo una mayor acidez láctica.

4.4 Cargado a los biodigestores batch

4.4.1 Porcentajes de humedad y solidos totales del estiércol.

Para el cargado a los biodigestores batch, es importante saber el porcentaje de humedad del estiércol, ya que en la fórmula de Schlaefli (2010), esté parámetro nos indicará el porcentaje de materia seca a usar por cada mezcla.

A continuación, en la Tabla 21 se muestran los datos generados en laboratorio para calcular el porcentaje de humedad del estiércol.

Tabla 21: Datos para calcular la humedad del estiércol

Descripción	Valor (g)
Masa del crisol	60.8311
Masa de crisol con muestra húmeda (Mcmh)	65.8042
Masa de crisol con muestra seca (Mcms)	61.7561
Masa de la muestra húmeda (Mm)	4.9731

El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{Mcmh - Mcms}{Mm}$$

Donde:

%H: Porcentaje de Humedad

Mcmh: Masa de crisol con muestra húmeda

Mcms: Masa de crisol con muestra seca

Mm: Masa de la muestra húmeda.

Reemplazando los datos obtenidos en laboratorio en la fórmula, se obtiene:

$$\%H = \frac{65.8042 - 61.7561}{4.9731} \times 100$$

$$\%H = 81.4\%$$

Por otro lado, también se realizó el análisis del porcentaje de sólidos totales que nos ayudó a estandarizar la producción de biogás para poder hacer la comparación con otras investigaciones.

A continuación, en la Tabla 22 se muestran los datos para calcular el este parámetro.

Tabla 22: Datos para el cálculo de sólidos totales y volátiles.

Descripción	Valor (g)
Masa de la cápsula de porcelana (W1)	60.83
Masa de la cápsula con la muestra fresca (W2)	65.8
Masa de la cápsula sometida a 105°C (W3)	61.76
Masa de la cápsula sometida a 550°C (W4)	61.02

Se determinó los porcentajes de ST y SV usando las siguientes expresiones:

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

Dónde:

ST (%): Porcentaje de sólidos totales

De los datos encontrados en laboratorio se procedió a obtener el contenido de ST y SV.

$$\%ST = \left(\frac{61.76 - 60.83}{65.80 - 60.83} \right) \times 100$$

$$\%ST = 18.71\%$$

4.4.2 Cálculo de la carga de los biodigestores

Para poder calcular la carga de los biodigestores batch con los diferentes sustratos que presenta cada mezcla (ver Tabla 13), se procedió primero a realizar el análisis de humedad, luego se procedió a calcular el porcentaje de materia seca y por último estos valores fueron reemplazados en la fórmula de Schlaefli, (2010) como se indica en el ítem 3.4.5.

A continuación, en la Tabla 23 se muestran los porcentajes de humedad y de materia seca de los diferentes sustratos.

Tabla 23: Porcentajes de humedad y de materia seca.

Tipo de mezcla (sustrato)	% de Humedad	% de Materia seca
Mezcla 1 (estiércol)	81.4	18.6
Mezcla 2 (pretratamiento 1 ^a)	85.1	14.9
Mezcla 3 (estiércol y cartucho)	81.4	18.6
Mezcla 4 (pretratamiento 2 ^b)	84.87	15.13

a Bokashi de estiércol con microorganismos benéficos al 20%

b Bokashi de estiércol y cartucho con microorganismos benéficos al 20%

Así mismo, el biodigestor en laboratorio fue simulado en frascos de 1000 ml, sin embargo, cada frasco poseía un volumen total de 1100 ml al ser enrasado hasta el tope, por consiguiente, se trabajó con el volumen total de 1100 ml, además el volumen útil que se tomó para cargar el reactor con la mezcla de sustrato y agua fue del 80 por ciento del volumen total teniendo un volumen útil de 880 ml.

En la presente investigación se trabajó con un cinco por ciento de sólidos totales, para ello la cantidad de muestra requerida para el proceso de biodigestión se determinó de la siguiente forma

$$\text{Gramos de materia Seca} = \text{Volumen útil} \times 5\%$$

$$\text{Gramos de materia Seca} = 880\text{ml} \times 5\%$$

$$\text{Gramos de materia Seca (ST)} = 44\text{g}.$$

Reemplazando en la fórmula de Schlaefli (2010).

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

Se obtiene:

Para la mezcla 1

$$g \text{ Sustrato} = \left(\frac{44 \times 100}{18.6} \right)$$

$$g \text{ Sustrato} = 236.6g.$$

Para la mezcla 2

$$g \text{ Sustrato} = \left(\frac{44 \times 100}{14.9} \right)$$

$$g \text{ sustrato} = 295.3g$$

Para la mezcla 3

$$g \text{ Sustrato} = \left(\frac{44 \times 100}{18.6} \right)$$

$$g \text{ Sustrato} = 236.6g$$

Para la mezcla 4

$$g \text{ Sustrato} = \left(\frac{44 \times 100}{15.13} \right)$$

$$g \text{ Sustrato} = 290.8g$$

4.5 Resultados del volumen de biogás y metano de los biodigestores batch.

A continuación, se mostrará a detalle los resultados obtenidos durante los 61 días de digestión anaerobia que se realizó en biodigestores batch que fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental. Para poder comparar los tratamientos, los resultados tomados fueron convertidos a Condiciones Normales (CN), es decir, a 1 atmósfera de presión y a 25 °C.

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

- Mezcla 1 (estiércol más agua) como Tratamiento 1 o Tratamiento control.
- Mezcla 2 (bokashi de estiércol con MB al 20 por ciento más agua) como Tratamiento 2
- Mezcla 3 (estiércol más cartucho más agua) como Tratamiento 3
- Mezcla 4 (bokashi de estiércol y cartucho con MB al 20 por ciento más agua) como Tratamiento 4

4.5.1 Comportamiento del pH y la temperatura

La temperatura del biodigestor se mantuvo en el rango de temperatura mesofílico, específicamente a 30 °C, esto se logró debido al uso del baño maría que mantuvo la temperatura estable durante todo el proceso de digestión anaerobia. La medición del pH solo se realizó al inicio y al final del proceso de digestión anaerobia, esto se da debido a que los reactores batch fueron sellados herméticamente, al inicio el pH estuvo en un rango de 7 – 8 y al final el pH estuvo en un rango 7 – 7.5.

4.5.2 Volumen de metano producido

En la Tabla 24 se muestra los valores de volumen promedio por semana y el volumen acumulado semanal de metano de los cuatro tipos de tratamientos. El volumen promedio por semana es un promedio de los volúmenes producidos diariamente durante cada semana y, el volumen acumulado semanal es la producción de biogás que se acumula semanalmente, es decir que el volumen de la semana 9 es el volumen acumulado de las 9 semanas.

Se cargaron los biodigestores batch un fin de semana y cada tratamiento tuvo una repetición, así mismo, a cada biodigestor batch se le agregó inóculo que se extrajo del biodigestor que se encuentra instalado en el centro de tratamiento de residuos sólidos (CEMTRAR) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, este inóculo fue el biol maduro que se extrajo de este biodigestor, El inóculo cumple la función de poder dar las condiciones para empezar (etapa de arranque) el proceso de fermentación anaeróbica. Los valores de la medición diaria de metano se encuentran en el Anexo 8.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las dos repeticiones (Bloques), durante las nueve semanas, resultaron ser de diferencias no significativas ($P > 0.05$) y con Coeficientes

de Variabilidad (CV) por debajo del 20 por ciento, Valdez (2016) menciona a que valores de CV por debajo del 30 por ciento tienen una distribución homogénea, es decir las repeticiones son iguales, mientras que, para los cuatro tipos de tratamientos, durante las nueve semanas de evaluación, las varianzas fueron significativas ($P < 0.05$), para comprobar que tratamiento fue el óptimo, se realizó la prueba de Dunnett, en donde se comparan las medias de los tratamientos 2, 3 y 4 con el tratamiento control que fue el 1, llegando a concluir que el tratamiento 2 es significativamente diferente al tratamiento 1, mientras que el tratamiento 3 y 4 no son significativamente diferentes al tratamiento 1 (véase Anexo 10)

Tabla 24: Volumen promedio semanal de metano.

Semana	Volumen promedio por semana (ml)				Volumen acumulado semanal (ml)			
	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)
1	13.50	0.00	22.05	0.00	67.40	0.00	110.30	0.00
2	95.20	20.00	121.47	35.00	543.50	99.80	717.60	175.00
3	143.00	129.70	167.68	78.40	1258.50	748.20	1556.00	567.10
4	120.40	169.30	140.02	141.60	1860.60	1594.50	2256.10	1275.10
5	68.80	362.80	72.46	214.20	2204.50	3408.70	2618.40	2346.30
6	35.20	259.20	59.33	147.00	2380.40	4704.80	2915.10	3081.40
7	22.60	106.80	33.96	91.70	2493.30	5238.60	3084.90	3540.00
8	10.00	86.60	23.98	52.20	2543.20	5671.80	3204.80	3800.80
9	1.20	27.00	9.45	26.10	2549.39	5806.60	3252.00	3931.20

Tratamiento 1: Mezcla de estiércol más agua

Tratamiento 2: Mezcla de bokashi de estiércol más agua

Tratamiento 3: Mezcla de estiércol más cartucho más agua

Tratamiento 4: Mezcla de abono bokashi de estiércol y cartucho más agua

En la Figura 18 se observa el comportamiento de la producción de metano en los cuatro tratamientos. Los tratamientos 1 y 3 empezaron su producción a la mitad de la semana 1, mientras que los tratamientos 2 y 4 empezaron su producción recién en la segunda semana, esto debido a que se encalo durante 10 días para estabilizar el pH en un rango de 6.5 a 7.5. Cabe indicar que todos los tratamientos se instalaron el mismo día, sin embargo, los tratamientos 2 y 4 no tienen mediciones durante la primera semana debido al proceso de encalado.

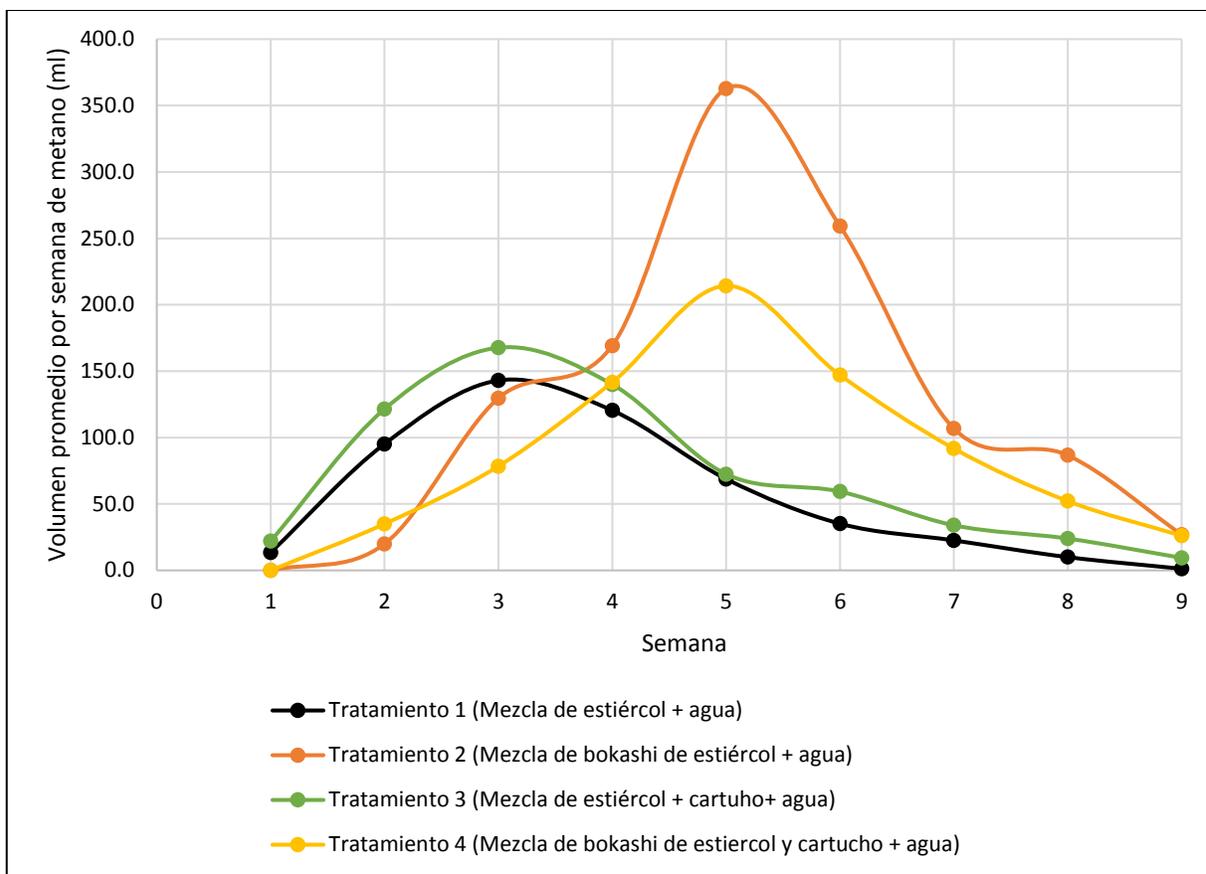


Figura 18: Volumen promedio de metano a CN.

El Tratamiento 1 tuvo una producción exponencial de metano desde la primera semana, esto se debe a la adición de inóculo que activó los microorganismos presentes en el proceso de digestión anaerobia, llegando a producir un volumen máximo diario de 306.3 ml (véase el Anexo 8). Claramente se puede ver que en la semana 3 se registró la mayor producción de metano y es a partir de ahí que va disminuyendo la producción de metano de manera secuencial.

Las dos últimas semanas la producción de metano se redujo drásticamente, debido a la degradación de la materia orgánica que ingresó en los biodigestores batch, En esta semana hubo una producción diaria de menos de 10 ml e incluso días de producción nula

El Tratamiento 2, al igual que a los demás Tratamientos se le agregó inóculo, sin embargo, a este Tratamiento se le encaló durante 10 días con cal agrícola, esto se hizo para neutralizar el pH de la mezcla, debido a que los microorganismos benéficos acidificaban el medio, recién a mitad de la segunda semana se inició la medición de la producción de metano como se muestra en el Anexo 8. Este tratamiento tuvo una producción exponencial en la segunda semana,

llegando a producir un volumen máximo diario de 555.2 ml (véase Anexo 8). La mayor producción de metano se dio en la quinta semana como se evidencia en la Figura 18. Se sugiere que el crecimiento exponencial de metano es debido al pretratamiento tipo bokashi o bokashi láctico, lo cual reforzó a que la etapa de hidrólisis tuviera una duración corta debido a una mayor degradación de la fibra lignocelulósica por parte de las bacterias ácido lácticas; además, un corto periodo de la etapa de hidrólisis hace que las bacterias metanogénicas tuvieran un crecimiento exponencial en corto tiempo, produciendo altos volúmenes de metano.

El Tratamiento 3 tuvo una producción exponencial de metano desde la primera semana, esto se debe a la adición de inóculo que activo los macroorganismos presentes en el proceso de digestión anaerobia, llegando a producir un volumen máximo diario de 373.69 ml, véase Anexo 8. Claramente se puede ver que en la semana 3 se da la mayor producción de metano y es a partir de ahí que va disminuyendo la producción de metano de manera secuencial.

El Tratamiento 3, tuvo una tendencia similar al Tratamiento 1, sin embargo, se observa que los promedios por semana son mayores al Tratamiento 1, esto se sugiere producto de la adición de residuos de cartucho. Así mismo durante las dos últimas semanas se redujo a niveles inferiores de 20 ml diarios.

El Tratamiento 4, al igual que el Tratamiento 2 se le encaló durante 10 días con cal agrícola con la finalidad de neutralizar el pH de la mezcla, debido a que los microorganismos benéficos acidificaban el medio, recién a mitad de la segunda semana se inició la medición de la producción de metano como se muestra en el Anexo 8. Este tratamiento tuvo una producción exponencial en la segunda semana, llegando a producir un volumen máximo diario de 634.48 ml, véase Anexo 8. Claramente se puede ver que la tendencia en la Figura 18 es similar a la del tratamiento 2, sin embargo, su producción promedio por semana está por debajo del Tratamiento 2. Se sugiere que el crecimiento exponencial de metano es debido al pretratamiento tipo bokashi o bokashi láctico, lo cual reforzó a que la etapa de hidrólisis tuviera una duración corta debido a una mayor degradación de la fibra lignocelulósica por parte de la bacteria ácido lácticas; además, un corto periodo de la etapa de hidrólisis hace que las bacterias metanogénicas tuvieran un crecimiento exponencial en el corto tiempo, produciendo altos volúmenes de metano.

En la Figura 19 se puede apreciar el comportamiento de los volúmenes diarios acumulados de metano durante los 61 días que duró el proceso anaeróbico de los cuatro Tratamientos producidos a CN. Los valores medidos diariamente se encuentran en el Anexo 8.

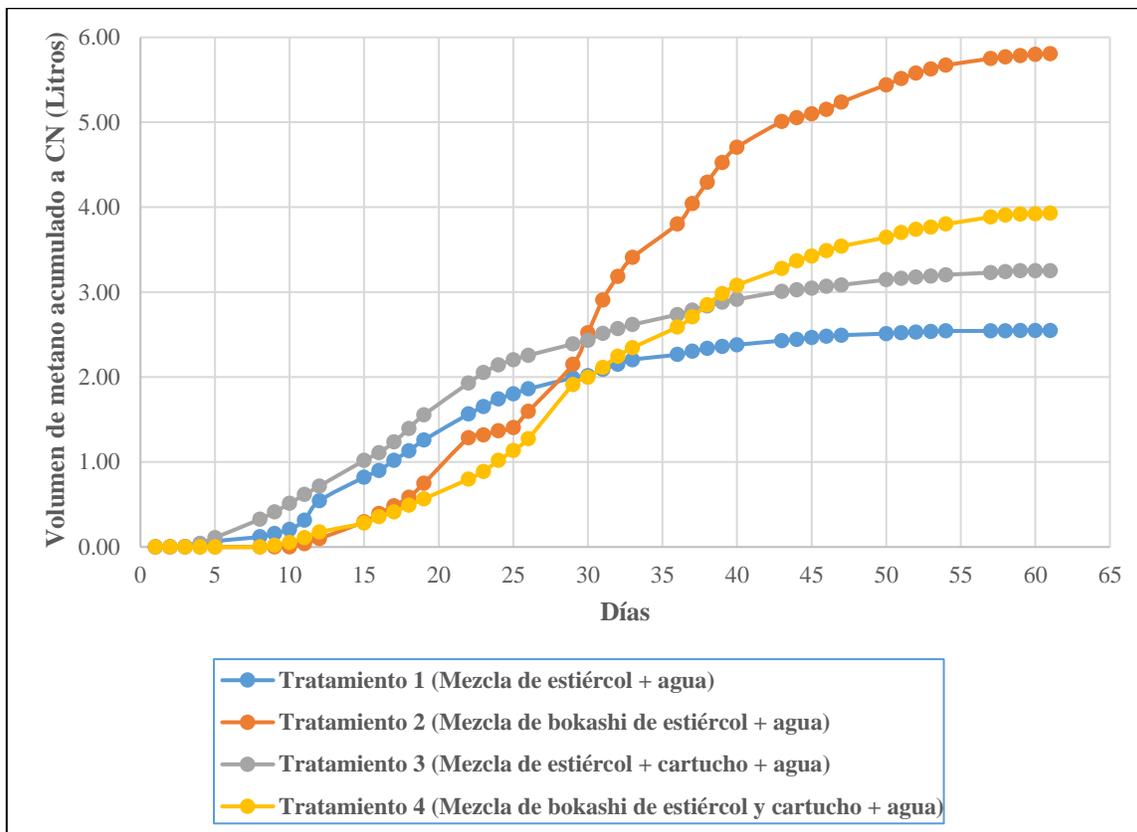


Figura 19: Volumen diario acumulado de metano a CN.

A los cuatro tratamientos se le adicionaron inóculo, es por eso que se da una producción rápida de metano; sin embargo, los tratamientos 2 y 4 fueron encalados durante 10 días para estabilizar el pH, ya que la presencia de bacterias ácido lácticas acidificaban el medio. Como se muestra en la figura anterior, los tratamientos 2 y 4 recién empiezan su producción de metano en la semana dos, esto se debe a que recién se empezó a medir en la segunda semana, producto del encalado.

El volumen acumulado al final del proceso de digestión anaerobia para el Tratamiento 2 fue de 5.80 L, lo cual fue significativamente superior a los demás tratamientos, el Tratamiento 1 tuvo un volumen final de 2.55 L, el Tratamiento 3 tuvo un volumen final de 3.25 L y el Tratamiento 4 tuvo un volumen de 3.93 L.

El Tratamiento 2 tuvo una producción acumulada de metano de 2.27 veces más que el Tratamiento 1, de 1.78 veces más que el Tratamiento 3 y de 1.47 veces más que el tratamiento 4. Esto es posible porque la fibra lignocelulósica fue degradada con mayor facilidad por los microorganismos benéficos haciendo que la etapa de hidrólisis sea más corta y la etapa metanogénica más efectiva en la producción de metano.

A continuación, en la Tabla 25, se hace una comparación de volúmenes de metano expresados en ml /g ST y en m³/Kg de ST, con sustratos que han sido pretratados con la técnica de bokashi, para ello se hizo la comparación con la investigación de Valdez (2016), quien pretrato excretas de los animales que se encuentran en el parque zoológico de Huachipa, para ello el autor mencionado, realizó combinaciones de excretas, los cuales son: i) mezcla de excretas de la zona africana, sabana y felinario, al cual denomino como T1, ii) mezcla de excretas de la zona de granja, al cual denomino como T2 y iii) mezcla del T1 y T2 al cual denomino T3.

Tabla 25: Comparación de la producción de metano expresado en ml/ g ST y m³/Kg ST.

Descripción	Tesis				Valdez (2016)		
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3
Volumen acumulado (ml)	2549.39	5806.6	3252	3931.2	416.47	627.84	421.07
ST en la muestra (g)	44	44	44	44	25	25	25
Producción ml/g ST	57.94	131.97	73.91	89.35	16.66	25.11	16.84
Producción m ³ /Kg ST	0.058	0.132	0.074	0.089	0.017	0.025	0.017

En la tabla 25, se observa que la producción de metano expresados como m³/Kg ST, de los tratamientos de Valdez (2016), tienen valores por debajo de los cuatro tratamientos realizados en la presente investigación, así mismo, los tratamientos 2 y 4 de la presente investigación, los cuales fueron pretratados con la técnica de bokashi, muestran una producción de metano en m³/Kg ST muy superiores a los tres tratamientos realizados por Valdez (2016) quienes también fueron pretratados con la técnica de bokashi.

Se sugiere que la alta producción de metano de la presente investigación a diferencia de la investigación de Valdez (2016), se debe a que en los cuatro tratamientos se utilizaron inoculo, ya que según Valdez (2016) <<el inóculo cumple la función de poder dar las condiciones para empezar (etapa de arranque) el proceso de fermentación anaeróbica >> y al darle las

condiciones necesarias se sugiere que las etapas de la fermentación anaerobia fueron más efectivas logrando una mayor producción de metano, así mismo, otra posible causa de la alta producción de metano fue que a diferencia de la investigación de Valdez (2016) que agregó microorganismos benéficos (MB) a los estiércoles hasta llegar a una humedad del 60 por ciento, en la presente investigación se añadió MB en una concentración del 20 por ciento, es decir se añadió el 20 por ciento de la masa de estiércol que ingresara al biodigestor, lo cual sugiere que con la adición al 20 por ciento de MB, se degrada una mayor cantidad de fibra lignocelulósica, lo cual reforzó las etapas de fermentación anaerobia logrando una mayor producción de metano. Por otro lado, el tratamiento 2 de la presente investigación, el cual fue el mejor tratamiento tuvo una producción de $0.132 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$ en comparación al mejor tratamiento de Valdez (2016) que tuvo una producción de $0.025 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$, lo que demuestra que el pretratamiento realizado en la presente investigación resulto ser más eficaz en la producción de metano, lo cual conlleva a que el biogás presente mejores características de combustión ya que Martí, *et al.*, (2018), mencionan que el metano *<es e el único gas combustible de la mezcla y la concentración de otros gases, o bien del mismo metano, depende de condiciones operativas del biodigestor y de características del estiércol utilizado>>*.

4.5.3 Volumen de biogás producido

En la Tabla 26 se muestra los valores de volumen promedio por semana y el volumen acumulado semanal de biogás de los cuatro tipos de Tratamientos. El volumen promedio por semana es el promedio de los volúmenes producidos diariamente durante cada semana y, el volumen acumulado semanal es la producción de biogás que se acumula semanalmente, es decir que el volumen de la semana 9 es el volumen acumulado de las 9 semanas. La producción de biogás se da a partir de la primera semana para los Tratamientos uno y tres, y en la segunda semana para los Tratamientos 2 y 4 esto se debe a que estos Tratamientos fueron encalados durante 10 días, por lo tanto, no fue posible medir la producción de metano en ese lapso de tiempo. Los valores de la medición diaria de biogás se encuentran en el Anexo 11.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las dos repeticiones (Bloques), durante las nueve semanas, resultaron ser de diferencias no significativas ($P > 0.05$) y con Coeficientes de Variabilidad por debajo del 20 por ciento, por lo que podemos concluir que las repeticiones fueron homogéneas, mientras que, para los cuatro tipos de tratamientos, durante las nueve

semanas de evaluación, las varianzas fueron significativas ($P < 0.05$), para comprobar que tratamiento fue el óptimo, se realizó la prueba de Dunnet, en donde se comparan las medias de los Tratamientos 2, 3 y 4 con el Tratamiento control que fue el Tratamiento 1, llegando a concluir que el Tratamiento 2 es significativamente diferente al Tratamiento 1, mientras que el Tratamiento 3 y 4 no son significativamente diferentes. Véase Anexo 13.

Tabla 26: Volumen promedio semanal de biogás.

Semana	Volumen promedio por semana (ml)				Volumen acumulado semanal (ml)			
	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)
1	26.10	0.00	33.11	0.00	130.40	0.00	198.70	0.00
2	152.60	29.20	195.33	55.10	893.50	146.10	1175.30	275.70
3	210.90	254.00	262.02	119.20	1948.10	1416.00	2485.40	871.60
4	179.90	241.70	215.99	218.80	2847.70	2624.60	3565.30	1965.60
5	118.30	483.10	131.97	334.30	3439.30	5040.00	4225.20	3637.10
6	86.60	390.80	95.04	234.90	3872.50	6994.20	4700.40	4811.60
7	46.90	189.90	57.06	182.20	4107.10	7943.70	4985.70	5722.60
8	34.80	189.40	46.21	127.20	4281.20	8890.60	5216.70	6358.80
9	18.60	70.70	23.10	57.20	4374.00	9244.20	5332.30	6645.00

Tratamiento 1: Mezcla de estiércol más agua

Tratamiento 2: Mezcla de bokashi de estiércol más agua

Tratamiento 3: Mezcla de estiércol más cartucho más gua

Tratamiento 4: Mezcla de abono bokashi de estiércol y cartucho más agua

En la Figura 20 se muestran los comportamientos de los cuatro tipos de Tratamientos del volumen semanal de biogás a CN respectivamente. Cabe mencionar que los reactores produjeron volúmenes mínimos hasta la última semana de medición, al igual que la producción de metano.

Asimismo, se debe tener en cuenta que el rendimiento de volumen de biogás es mayor que el metano, debido a que éste último contiene otros gases a parte del metano (CH_4) como el dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y vapor de agua.

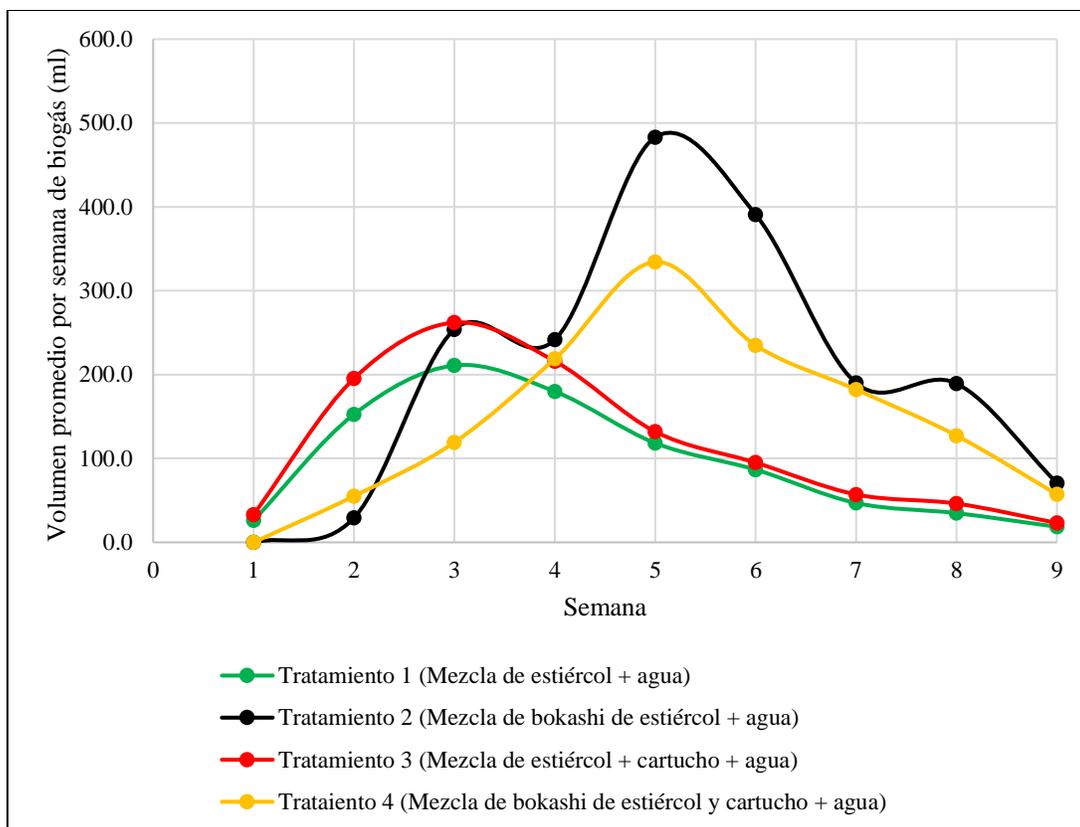


Figura 20: Volumen promedio por semana de biogás.

El Tratamiento 1 tuvo una producción exponencial de biogás desde la primera semana, esto se debe a la adición de inóculo que activó los microorganismos presentes en el proceso de digestión anaerobia, llegando a producir un volumen máximo diario de 421.82 ml, véase Anexo 11. Claramente se puede observar que en la semana 3 se da la mayor producción de biogás y es a partir de ahí que va disminuyendo su producción de manera secuencial.

La última semana la producción de biogás se redujo drásticamente, debido a la degradación de la materia orgánica que ingresó en los biodigestores batch, En esta semana hubo una producción diaria de menos de 20 ml.

El Tratamiento 2, al igual que a los demás tratamientos se le agregó inóculo, sin embargo, a este tratamiento se le encaló durante 10 días con cal agrícola, esto se hizo para neutralizar el pH de la mezcla, debido a que los microorganismos benéficos acidificaban el medio, recién a mitad de la segunda semana se inició la medición de la producción de metano como se muestra en el Anexo 11. Este Tratamiento tuvo una producción exponencial en la segunda semana, llegando a producir un volumen máximo diario de 752.63 ml, véase Anexo 11. Claramente se puede

observar que entre la semana 3 y 4 no hubo un incremento en la producción de biogás, sin embargo, a partir de la semana cuatro hubo otro crecimiento exponencial llegando a tener una producción máxima en la semana cinco. Se sugiere que el crecimiento exponencial de biogás es debido al pretratamiento tipo bokashi o bokashi láctico, lo cual reforzó a que la etapa de hidrólisis tuviera una duración corta debido a una mayor degradación de la fibra lignocelulósica por parte de la bacteria ácido lácticas; además, un corto periodo de la etapa de hidrólisis hace que las bacterias metanogénicas tuvieran un crecimiento exponencial en el corto tiempo, produciendo altos volúmenes de metano.

El Tratamiento 3 tuvo una producción exponencial de biogás desde la primera semana, esto se debe a la adición de inóculo que activo los microorganismos presentes en el proceso de digestión anaerobia, llegando a producir un volumen máximo diario de 552.22 ml, véase Anexo 11. Claramente se puede ver que en la semana 3 se da la mayor producción de biogás y es a partir de ahí que va disminuyendo la producción de metano de manera secuencial.

El Tratamiento 3, tuvo una tendencia similar al Tratamiento 1, sin embargo, se observa que los promedios por semanal son mayores al Tratamiento 1 durante las cuatro primeras semanas, esto se sugiere producto de la adición de residuos de cartucho. Así mismo durante las cinco semanas restantes esta producción no tuvo una diferencia significativa.

El Tratamiento 4, al igual que a los demás tratamientos se le agregó inóculo, sin embargo, a este tratamiento se le encaló durante 10 días con cal agrícola al igual que al Tratamiento 2, esto se hizo para neutralizar el pH de la mezcla, debido a que los microorganismos benéficos acidificaban el medio, recién a mitad de la segunda semana se inició la medición de la producción de biogás como se muestra en el Anexo 11. Este Tratamiento tuvo una producción exponencial en la segunda semana, llegando a producir un volumen máximo diario de 962.66 ml, véase Anexo 11. Claramente se puede ver que la tendencia en la gráfica es similar a la del Tratamiento 2, sin embargo, su producción promedio por semana está por debajo del Tratamiento 2.

En la Figura 21 se puede apreciar el comportamiento de los volúmenes diario de biogás acumulado a lo largo de toda la fase experimental para los cuatro Tratamientos. Los valores de

medición del volumen diario y volumen acumulado diariamente de biogás se encuentran en el Anexo 11. El análisis estadístico ANOVA se encuentran en el Anexo 13.

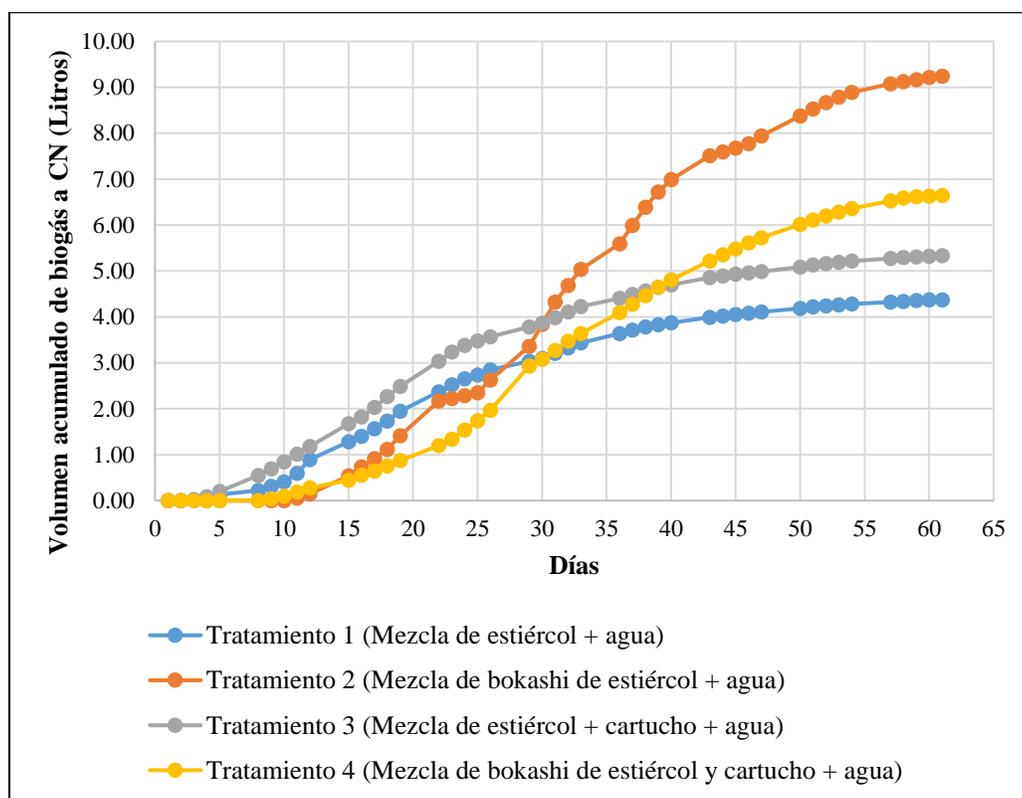


Figura 21: Volumen acumulado diario de biogás a CN.

Como se mencionó anteriormente, a los cuatro tratamientos se le adicionaron inóculo, debido a eso que se da una producción rápida de biogás, sin embargo, los Tratamiento 2 y 4 fueron encalados durante 10 días para estabilizar el pH, ya que la presencia de bacterias ácido lácticas acidificaban el medio, como se muestra en la figura anterior, estos Tratamientos recién empiezan la producción de biogás en la semana dos, esto se debe a que recién se empezaron a medir en la segunda semana.

El volumen acumulado al final del proceso de digestión anaerobia para el Tratamiento 2 fue de 9.2 L, lo cual fue significativamente superior a los demás tratamientos, el Tratamiento 1 tuvo un volumen final de 4.4 L, el Tratamiento 3 tuvo un volumen final de 5.3 L y el Tratamiento 4 tuvo un volumen de 6.6 L.

El tratamiento 2 tuvo una producción acumulada de biogás de 2.11 veces más que el tratamiento 1, de 1.73 veces más que el Tratamiento 3 y de 1.39 veces más que el Tratamiento 4, esto es posible porque la fibra lignocelulósica fue degradada con mayor facilidad por los microorganismos benéficos haciendo que la etapa de hidrólisis sea más corta y la etapa metanogénica más efectiva.

A continuación, en la Tabla 27, se hace una comparación de volúmenes de biogás expresados en ml /g ST y en m³/Kg de ST, con sustratos que han sido pretratados antes del cargado al biodigestor, para ello se hizo la comparación con la investigación de Valdez (2016), quien pretrato excretas de los animales del parque zoológico de Huachipa, con la técnica de bokashi para todos sus tratamientos, los cuales son mencionados a continuación: i) mezcla de excretas de la zona africana, sabana y felinario, al cual denomino como T1, ii) mezcla de excretas de la zona de granja, al cual denomino como T2 y iii) mezcla del T1 y T2 al cual denomino T3.

Así mismo también se realizó la comparación con la investigación de Torres (2013), quien realizó tres tipos de tratamientos los cuales son mencionados a continuación: i) estiércol de vacuno al cual denomino como T1, ii) Precompostaje de estiércol de vacuno al cual denomino T2 y iii) Bokashi de estiércol de vacuno al cual denomino T3.

Tabla 27: Comparación de la producción de biogás expresado en ml/ g ST y m³/Kg ST.

Investigación	Tratamiento	Volumen acumulado (ml)	ST en la muestra (g)	Producción ml/g ST	Producción m ³ /Kg ST
Tesis	T1	4374	44	99.41	0.099
	T2	9244	44	210.09	0.210
	T3	5332.3	44	121.19	0.121
	T4	6645	44	151.02	0.151
Torres (2013)	T1	276400	3028	91.28	0.091
	T2	445800	3028	147.23	0.147
	T3	657700	3028	217.21	0.217
Valdez (2016)	T1	1468.72	25	58.75	0.059
	T2	2115.82	25	84.63	0.085
	T3	1453.24	25	58.13	0.058

En la tabla 27, se observa que la producción de biogás expresados como $\text{m}^3/\text{Kg ST}$, de los tratamientos de Valdez (2016), tienen valores por debajo de los cuatro tratamientos realizados en la presente investigación, así mismo, en la investigación de Torres (2013), se evidencia que el T3, el cual fue pretratado con la técnica de bokashi presenta una producción de biogás ($0.217 \text{ m}^3/\text{Kg}$) muy similar al tratamiento 2 ($0.210 \text{ m}^3/\text{Kg}$) de la presente investigación, el cual también fue pretratado con la técnica de bokashi, por otro lado, el tratamiento 2 de la investigación de Torres (2013), el cual fue pretratado mediante un precompostaje, presenta una producción de biogás de $0.147 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$ en comparación al mejor tratamiento de la presente investigación que fue el T2 (pretratado con la técnica de bokashi) que presenta una producción de biogás de $0.210 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$, evidenciando que el pretratamiento con la técnica de bokashi fue mas efectiva en la producción de biogás.

Se sugiere que la alta producción de biogás de la presente investigación y de la de Torres se debe a que todos los tratamientos de las investigaciones mencionadas utilizaron inoculo, a diferencia de la investigación de Valdez que no utilizó inoculo para el arranque de sus sistema de fermentación, ya que según Valdez (2016) *<<el inóculo cumple la función de poder dar las condiciones para empezar (etapa de arranque) el proceso de fermentación anaeróbica >>* y al darle las condiciones necesarias se sugiere que las etapas de la fermentación anaerobia fueron más efectivas logrando una mayor producción de biogás.

Martí, *et al.*, (2018), mencionan que el metano que esta presente en el biogás *<es el único gas combustible de la mezcla y la concentración de otros gases, o bien del mismo metano, depende de condiciones operativas del biodigestor y de características del estiércol utilizado>>*, según esta definición otra posible causa de la alta producción de biogás en la presente investigación fue por el tipo de estiércol que se utilizó, a diferencia de la investigación de Valdez (2016) que utilizó excretas de diferentes animales del zoológico de Huachipa, así mismo, se sugiere que la alta producción de biogás fue por el pretratamiento que se le da al sustrato que ingresa al biodigestor, ya que el estiércol vacuno de la presente investigación que no fue pretratado presenta una producción de $0.099 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$, a diferencia del pretratamiento tipo precompostaje que se le hizo al estiércol vacuno en la investigación de Torres (2013) que presenta una producción de $0.147 \text{ m}^3/\text{Kg ST}$ y respecto al pretratamiento con la técnica de bokashi de la presente investigación y de la de Torres (2013) que presentan una producción de biogás de 0.210

m³/Kg ST y 0.217 m³/Kg ST respectivamente, lo cual evidencia que el pretratamiento ayuda a mejorar la producción de biogás debido a que se realiza una mayor degradación de la fibra lignocelulósica lo cual beneficia a las etapas de la fermentación anaerobia, ya que según Taherzadeh y Karimi (2008) el pretratamiento puede aumentar la biodigestibilidad de los residuos para la producción de biogás.

4.5.4 Calidad de biogás

En la Tabla 28 se muestra la calidad del biogás en función del volumen producido de metano y de biogás, es decir el porcentaje de metano (%CH₄) que se encuentra en el biogás; para ello se dividió el volumen producido de metano (volumen promedio por semana y volumen acumulado) a CN entre el volumen del biogás (volumen promedio por semana y volumen acumulado) a CN, y finalmente se multiplicó por 100 por ciento. Los valores de calidad de biogás en función del volumen acumulado diario de metano se encuentran en el Anexo 14. También se hace una comparación con una investigación tipo batch de Torres (2013).

Tabla 28: Calidad de biogás (metano/biogás) %.

Semana	Calidad promedio semanal (%CH ₄)				Calidad acumulado semanal (%CH ₄)				Torres, 2013
	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)	T1 o Control (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)	
1	51.7	-	66.6	-	51.7	-	55.5	-	18.1
2	62.4	68.3	62.2	63.5	60.8	68.3	61.1	63.5	39.4
3	67.8	51.1	64.0	65.8	64.6	52.8	62.6	65.1	45.0
4	66.9	70.0	64.8	64.7	65.3	60.8	63.3	64.9	49.2
5	58.1	75.1	54.9	64.1	64.1	67.6	62.0	64.5	50.9
6	40.6	66.3	62.4	62.6	61.5	67.3	62.0	64.0	42.0
7	48.1	56.2	59.5	50.3	60.7	65.9	61.9	61.9	41.3
8	28.6	45.7	51.9	41.0	59.4	63.8	61.4	59.8	37.5
9	6.6	38.1	40.9	45.6	58.3	62.8	61.0	59.2	34.8

Tratamiento 1: Mezcla de estiércol más agua

Tratamiento 2: Mezcla de bokashi de estiércol más agua

Tratamiento 3: Mezcla de estiércol más cartucho más gua

Tratamiento 4: Mezcla de abono bokashi de estiércol y cartucho más agua

En la Tabla 28 se compara con la investigación de Torres (2013) que utilizó el pretratamiento tipo MB-bokashi (durante 7 días a diferencia de la presente investigación, que se realizó por 10 días) con resultados muy buenos respecto a la calidad de biogás, en la presente investigación se llegó a producir un biogás con una calidad homogénea superior al 50 por ciento de CH₄, desde la primera semana hasta la quinta semana para el Tratamiento 1, para el Tratamiento 3 se dio hasta la octava semana y para los Tratamientos 2 y 4 se dio esta homogeneidad desde la semana 2 hasta la semana 8.

En la Figura 22 se muestra los comportamientos de la calidad del biogás en función del volumen acumulado por semana de metano de los cuatro Tratamientos. La evaluación de la calidad de biogás se empieza a analizar a partir de la segunda semana ya que los Tratamientos 2 y 4 recién inicia su operación en esa semana debido al encalado que se le hizo para neutralizar el pH.

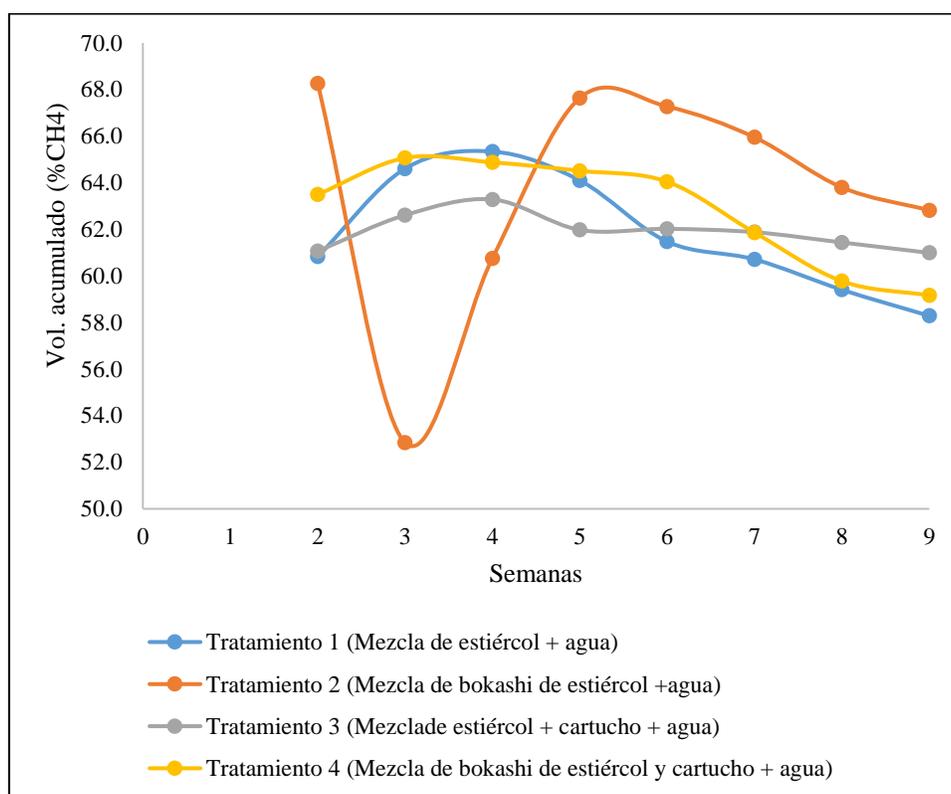


Figura 22: Calidad de biogás (%CH₄).

Todos los Tratamientos, como se mostró en los ítems 4.3.2 y 4.3.3 empiezan a producir de forma exponencial desde la primera semana para los Tratamientos 1 y 3, en la segunda semana para

los Tratamientos 3 y 4, además la producción de calidad de metano llegó a valores muy cercanos al 70 por ciento, lo cual evidencia que el biogás producido tiene muy buena calidad.

De los cuatro Tratamientos, el que obtuvo una mayor calidad tanto en la producción promedio semanal y en la producción acumulada semanal, fue el Tratamiento 2 con valores de 75.1 y 68.3 por ciento respectivamente, sin embargo, se aprecia que la calidad de biogás de este Tratamiento disminuye en la semana 3, esto sería posible porque el medio aún no se encontraría estabilizado producto de un descenso del pH, sin embargo, para la semana 4 la calidad de biogás empezó a subir, evidenciando que el medio se encuentra estable y con concentraciones de metano por encima de los demás tratamientos.

4.6 Análisis de la calidad del biol

La calidad del biol en los biodigestores batch es medido en base a la composición química (nutrientes); sin embargo, no se consideró medir los parámetros microbiológicos ya que investigaciones anteriores como la de Cárdenas (2012), Rojas (2014) y Valdez (2016) muestran que el proceso de digestión anaerobia en biodigestores batch hace disminuir estos parámetros, sin embargo, se consideró medir estos parámetros en la realización de la Fase de campo.

4.6.1 Composición química del biol

En la Tabla 29 se puede apreciar los resultados de la composición química del biol con fines agronómicos, llevados a cabo en el Laboratorio Análisis de Suelos Plantas Aguas y Fertilizantes (LASPAF), con la finalidad de evaluar el potencial que tiene este subproducto como abono orgánico líquido. Los valores obtenidos en el laboratorio fueron estadísticamente probados, y evidenciaron que las repeticiones tuvieron un coeficiente de variabilidad menores a 20 por ciento. lo cual hace que sean homogéneas las repeticiones (ver Anexo 17). Así mismo, a cada parámetro se le aplicó el ANOVA para verificar su significancia y demostrar que tratamiento es el mejor., lo cual se muestra en el Anexo18

Tabla 29: Composición química del biol.

Parámetro	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
pH	Unidad de pH	7.19	7.18	7.17	7.16
C.E	dS/cm	5.73	8.76	6.75	8.96
Sólidos Totales	g/L	6.00	11.59	6.77	10.43
M.O en solución	g/L	3.60	6.40	3.59	3.14
N total	mg/L	424.67	541.33	494.67	378.00
P total	mg/L	39.48	81.04	29.58	47.30
K total	mg/L	270.25	490.00	384.50	468.25
Ca total	mg/L	290.00	1562.52	342.50	597.50
Mg Total	mg/L	195.25	187.00	184.00	192.75
Na total	mg/L	110.00	950.00	127.50	800.00

Tratamiento 1: Mezcla de estiércol más agua

Tratamiento 2: Mezcla de bokashi de estiércol más agua

Tratamiento 3: Mezcla de estiércol más cartucho más gua

Tratamiento 4: Mezcla de abono bokashi de estiércol y cartucho más agua

En la Tabla anterior se observa que para los cuatro Tratamientos el pH no presenta ninguna variación significativa, es decir el pH es muy similar para los cuatro tratamientos, esto es verificado estadísticamente en el Anexo 18; cabe mencionar que el pH antes de la fermentación anaerobia estuvo en un rango de 6.5 a 7.5, así mismo se encalo a los Tratamientos 2 y 4 debido a que las bacterias ácido lácticas acidificaban el medio, es por ello que se regulo el pH hasta la neutralidad usando cal agrícola.

La Conductividad Eléctrica (CE) de los Tratamientos 2 y 4 son significativamente más altos que los demás Tratamientos, por lo tanto, estos dos Tratamientos tienen una mayor disponibilidad de sales; sin embargo, no superan los 15 dS/cm de lo contrario serían dañinos para las plantas, haciendo que otros nutrientes no se encuentren disponibles para las plantas (Magaña, citado por Torres, 2013).

Los valores de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) son considerados nutrientes mayores, los cuales son los primeros en ser extraídos por las plantas, por tanto, son los que más escasean en

el suelo (AEDES, citado por Carhuacho, 2012), por tanto, mientras más alto el valor mucho mejor. La cantidad de nitrógeno total (N total) de los Tratamientos 1, 2 y 3 son similares estadísticamente y son los que poseen una mayor concentración en comparación al Tratamiento 4; sin embargo, matemáticamente el Tratamiento 2 presenta una mayor concentración como se muestra en la Tabla 29, cuyo valor es de 541.33 mg/L. El fósforo total (P total) del Tratamiento 2 (81.04 mg/l) es significativamente superior al Tratamiento 1, 3 y 4 cuyos valores son de 39.48 mg/L, 29.58 mg/L y 47.3 mg/L respectivamente. El potasio total (K total) del Tratamiento 2, 3 y 4 no son significativamente diferentes, sin embargo, estos tratamientos presentan una mayor concentración de potasio en comparación al Tratamiento 1; así mismos el Tratamiento 2 es matemáticamente superior a los demás Tratamientos y cuyo valor es de 490 mg/L.

Los valores de Ca y Mg son considerados nutrientes secundarios, es decir que después de los NPK son estos valores de mayor importancia para el crecimiento de las plantas (AEDES, citado por Carhuacho, 2012). El Tratamiento 2 es significativamente superior a los demás Tratamientos para el Calcio total (Ca total) con 1562.52 mg/l, sin embargo, para el magnesio total (Mg total) los cuatro Tratamientos presentan diferencias no significativas es decir que presentan concentraciones similares.

De lo expuesto anteriormente se verifica que el Tratamiento 2 (Mezcla de bokashi de estiércol + Agua) tuvo una mejor calidad en comparación a los demás Tratamientos; así mismo este Tratamiento fue desarrollado a escala real en un biodigestor tubular en el anexo de Soca en Matucana.

En el Tabla 30 se compara los valores obtenidos con el biol de Agricultura Casa Blanca, el cual está hecho a base de estiércol de cuy y de un sistema tipo batch, pues cuentan con un biodigestor tipo chino y con el biol de Torres (2013), en cuya investigación utilizó un sistema batch utilizando como sustrato para sus reactores estiércol de vacuno pretratado con microorganismos benéficos al cual se le conoce como la técnica de bokashi.

Tabla 30: Comparación de la calidad de biol obtenido con otras investigaciones.

Parámetro	Unidad	Tesis				BACB (1)	Torres (2013)
		T1	T2	T3	T4		T3 (2)
pH	Unidad de pH	7.19	7.18	7.17	7.16	7.30	7.14
C.E	dS/m	5.73	8.76	6.75	8.96	14.70	12.9
Sólidos Totales	g/L	6.00	11.59	6.77	10.43	-	34.26
M.O en solución	g/L	3.60	6.40	3.59	3.14	4.74	20.60
N total	mg/L	424.67	541.33	494.67	378.00	920.00	1551.70
P total	mg/L	39.48	81.04	29.58	47.30	92.00	423.05
K total	mg/L	270.25	490.00	384.50	468.25	2297.50	1885.8
Ca total	mg/L	290.00	1562.52	342.50	597.50	230.60	1044.17
Mg Total	mg/L	195.25	187.00	184.00	192.75	151.20	334.17
Na total	mg/L	110.00	950.00	127.50	800.00	667.50	818.33

T1: Mezcla de estiércol más agua

T2: Mezcla de bokashi de estiércol más agua

T3: Mezcla de estiércol más cartucho más gua

T4: Mezcla de abono bokashi de estiércol y cartucho más agua

(1) BACB: Biol de Agricultura Casa Blanca

(2) T3: Biol obtenido de la digestión de bokashi de estiércol de vacuno.

Como se puede observar en la Tabla 30, el biol proveniente de Agricultura Casa Blanca (BACB), presenta valores más altos respecto a los bioles de la presente investigación, sin embargo, los parámetros de Ca y Mg de la presente investigación presentan valores más altos. Igualmente, se puede observar que los valores obtenidos en la investigación de Torres, presentan valores más altos en todos los parámetros en comparación de la presente investigación.

Dado que los valores de biol de la presenta investigación presentan valores por debajo al de las otras dos investigaciones, se afirma que la calidad del biol de las otras dos investigaciones presentan mejores características para actividades agronómicas ya que según el FONCODES (2014) el biol es una fuente orgánica de fitorreguladores, que es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas.

4.7 Resultados de la implementación del mejor tratamiento a escala real

- a) Fase 1: Se realizó el cargado al biodigestor solo con estiércol vacuno durante el lapso de un mes, para ello se realizó el cargado una vez por semana, se utilizó para el cargado 1 m³ de la mezcla de estiércol y agua, como se detalla en el ítem 3.4.7

La finalidad de esta fase fue medir la concentración de los diferentes gases que contiene el biogás al ser cargado solo con estiércol, la medición se realizó de manera inter diaria, para ello se llevó muestras de gas en cámaras herméticas que fueron analizados por el personal técnico de laboratorio con el equipo muestreador de gases Multitec® 545. Así mismo la temperatura interna del biodigestor no fue posible medirla, sin embargo, la temperatura donde se localiza el biodigestor si fue monitoreada con un termohigrómetro Marca EBCQ registrando un valor promedio de 29.2 °C durante toda esta fase. Por otro lado, en esta fase se midió los parámetros microbiológicos del biol de la primera mezcla, es decir el biol que aún no ha ingresado al reactor para realizar el proceso de digestión anaerobia. A continuación, en la Figura 23 se muestra cómo se realizó el llevado de biogás hacia el laboratorio para su análisis con el equipo muestreador de gases Multitec® 545.



Figura 23: Medición de biogás en campo.

i) Llevado de muestra de biogás en cámaras herméticas para su análisis en laboratorio y ii) Medición de biogás con el equipo Multitec® 545.

- b) Fase 2: Esta fase comprende el cargado del biodigestor con el mejor tratamiento encontrado en laboratorio. Tanto el cargado como el monitoreo se realizó de manera similar a la fase 1.

Para el cargado al biodigestor se usó 200 Kg de estiércol pretratado con 800 litros de agua de riachuelo, generando un volumen de 1 m³. En esta fase, el estiércol pre tratado durante 10 días (ver Figura 24) se encalo durante otros 10 días, la finalidad fue aumentar el pH hasta valores entre 6 y 8, para ello se usó cal agrícola y se añadió a la mezcla de estiércol más agua. Así mismo la temperatura donde se localiza el biodigestor tuvo un valor promedio de 29.9 °C durante toda esta fase, este dato fue obtenido del registro con el termohigrómetro Marca EBCQ. Por último, se midió los parámetros microbiológicos y de nutrientes del biol.



Figura 24: Estiércol pretratado listo para encalar.

I. Análisis del biogás en la Fase de Campo

Como se mencionó anteriormente, se realizó el monitoreo de biogás de manera inter diaria durante las dos fases, a continuación, desde la Figura 25 hasta la 29 se muestra el monitoreo realizado en campo de los distintos gases que se encuentran en el biogás:

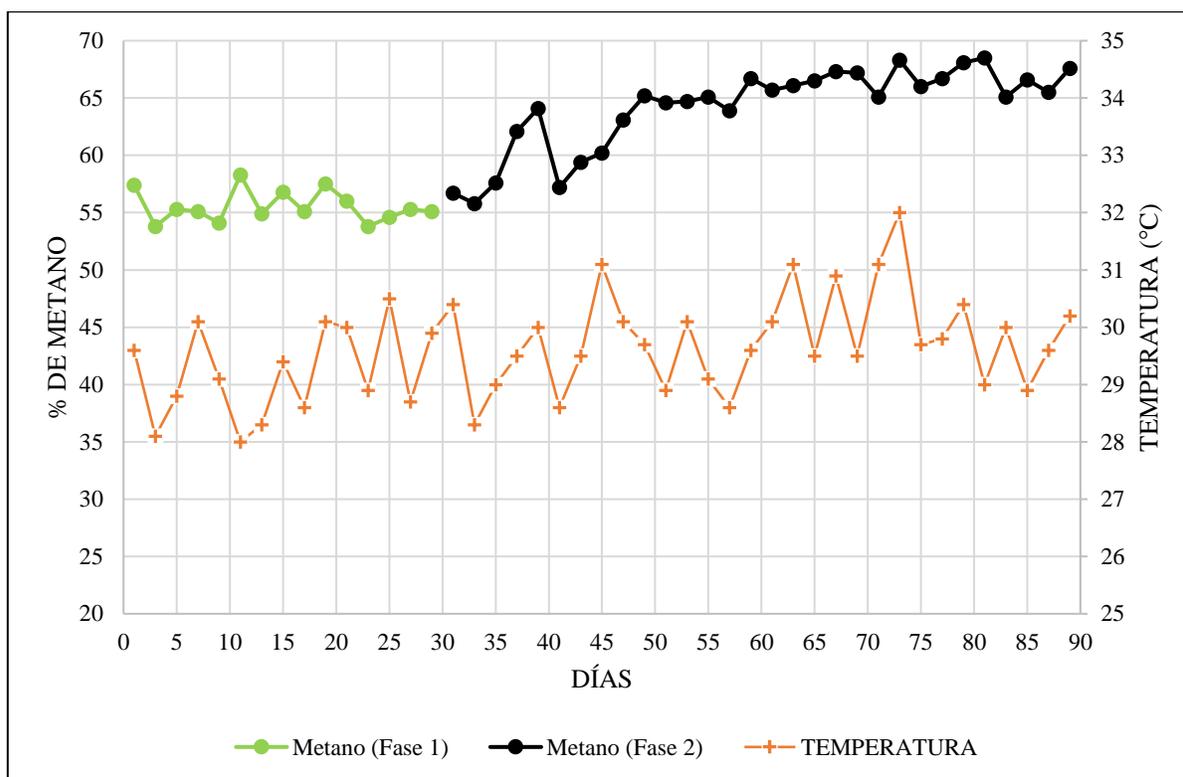


Figura 25: Porcentaje de metano.

En la Figura 25 se muestra que el máximo porcentaje de metano durante la fase 1 fue de 58.3 por ciento y el mínimo fue de 53.8 por ciento. Durante todo el proceso de la fase 1, la temperatura media fue de 29.2 °C, esto indica que el biodigestor tuvo las condiciones necesarias para que opere en un rango mesofílico, ya que Varnero (2011) menciona que << la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados en el proceso de digestión anaerobia >> y las reacciones que se dan en el reactor son muy dependientes de la temperatura.

En la Fase 2 el máximo porcentaje de metano fue de 68.5 por ciento y el mínimo fue de 55.8 por ciento. Esto muestra que la producción de metano durante todo el proceso de digestión anaerobia de las tres fases se encuentra entre el rango de 50 a 80 por ciento como lo menciona Martí, *et al*

(2018), en el Manual Lechero del Ministerio de Energía del gobierno de Chile, así mismo, la temperatura media de toda la fase dos es de 29.9 °C, lo cual indica que el biodigestor estuvo operando en un rango mesofílico durante toda esta fase.

Por otro lado, como se observa en la Figura 25, el porcentaje de metano fue incrementándose a medida que se introdujo el pretratamiento realizado en la fase 2, esto indica que la etapa hidrolítica se acorto, ya que la fibra lignocelulósica fue degradada previamente por los microorganismos benéficos, esto genera una menor materia orgánica polimérica que ingresa al biodigestor, es decir se tiene se tiene una materia orgánica más simple que puede ya ser usada por los microorganismos hidrolíticos, para la generación de ácidos orgánicos que son usados en las etapa acidogénica.

A continuación, en la Figura 26 se muestra a detalle el monitoreo del dióxido de carbono en las dos fases.

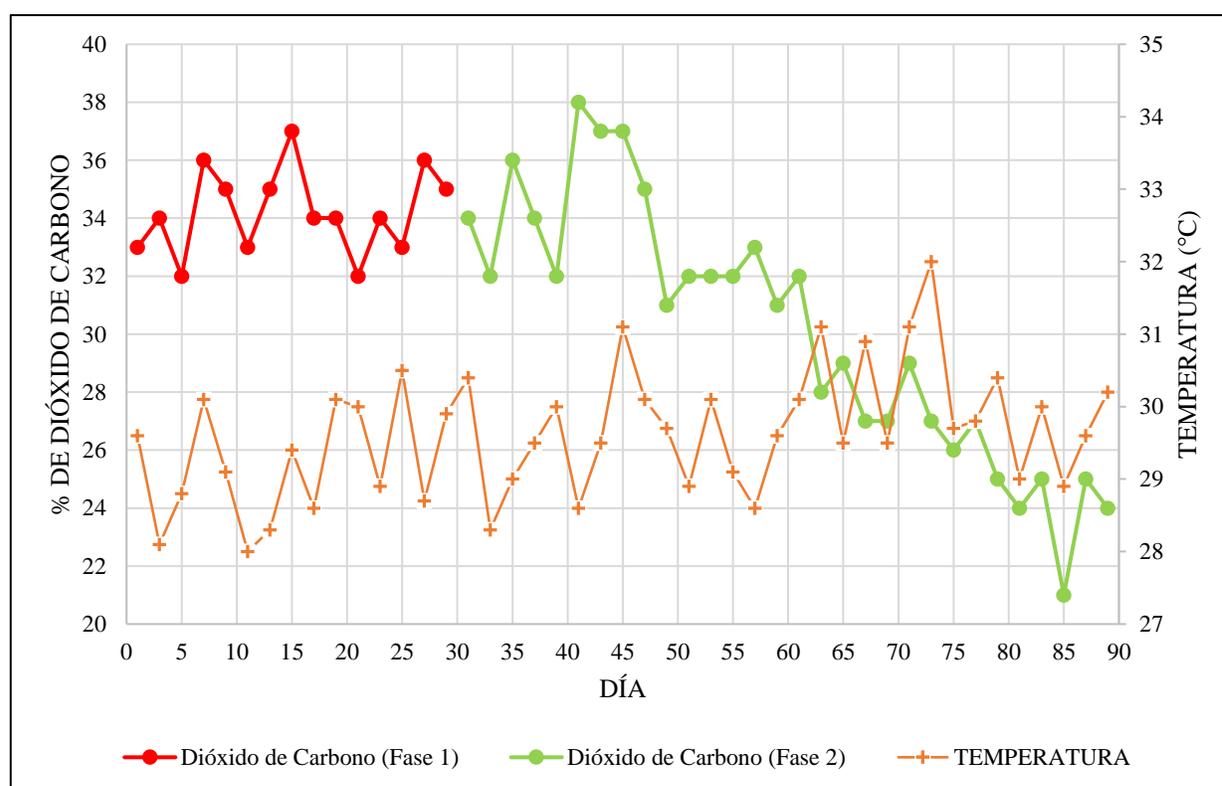


Figura 26: Porcentaje de dióxido de carbono.

El máximo porcentaje de CO₂ en la fase 1 fue de 37 por ciento y el mínimo fue 32 por ciento, por otro lado, en la fase 2, el máximo porcentaje de CO₂ fue de 38 por ciento y un mínimo de 21 por ciento. Los valores mostrados de CO₂ según Martí, *et al* (2018), menciona que el rango de

CO₂ de la presente investigación se encuentra entre el 20 y 50 por ciento que dispone el Manual lechero del Ministerio de Energía y Minas del Gobierno de Chile. Así mismo, se aprecia en la Figura 26 que la concentración de dióxido de carbono fue disminuyendo conforme fueron pasando de fase, lo cual evidencia el aumento de la concentración de metano, esto indica que el poder calorífico del biogás se ve aumentando ya que el único gas combustible del biogás es el metano, por otro lado, esta disminución del dióxido de carbono generará una menor producción de ácido carbónico conllevando a una menor corrosión de los equipos del sistema de biodigestión.

A continuación, en la Figura 27, se muestra el monitoreo del sulfuro de hidrógeno en las dos fases.

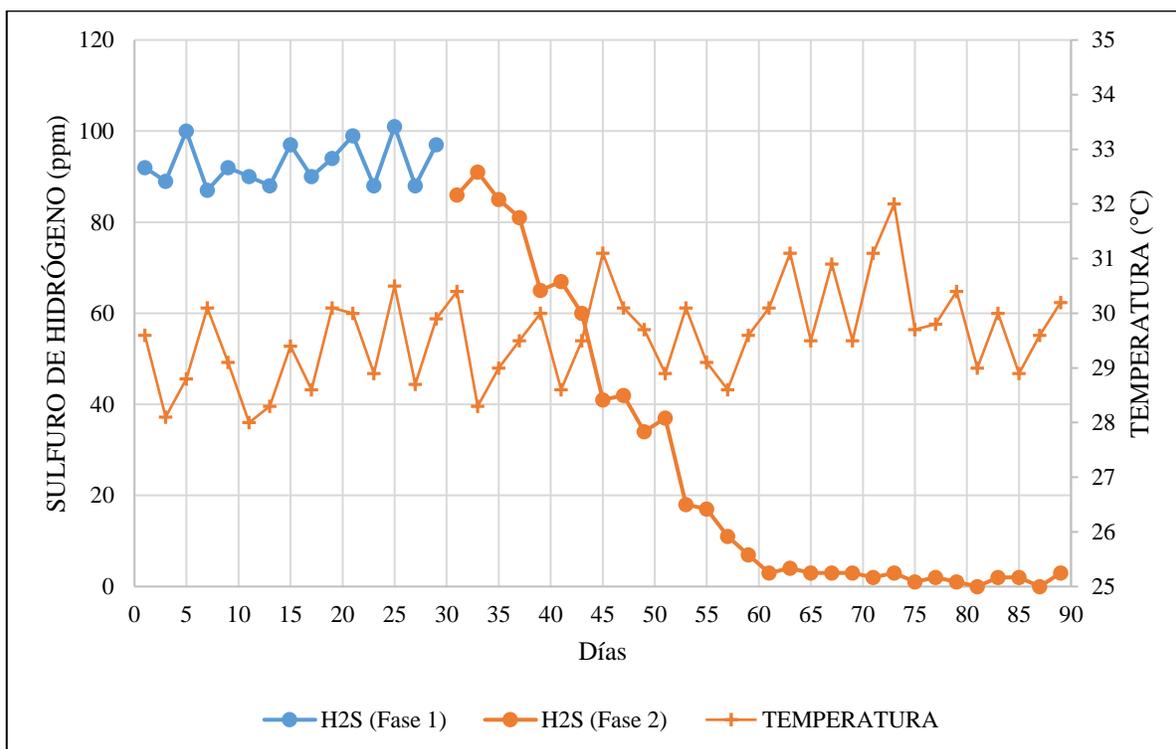


Figura 27: Partes por millón (ppm) del sulfuro de hidrógeno.

En la Figura 27 se observa que el valor máximo de H₂S en la fase 1 fue de 101 ppm y el valor mínimo fue de 87 ppm. En la fase 2, el valor máximo de H₂S fue de 91 ppm y de 0 ppm. Los valores mostrados de H₂S se encuentran por debajo de los valores mencionados por Martí, *et al* (2018), en el Manual Lechero del Ministerio de Energía del gobierno de Chile, en el cual mencionan que el rango de H₂S se encuentra entre 100 a 100000 ppm, sin embargo, se aprecia

que para los días 5 y 25 se registran valores de 100 ppm y 101 ppm, encontrándose dentro del rango que se menciona en el Manual Lechero.

Así mismo, se aprecia que conforme fueron pasando de fase, la concentración de sulfuro de hidrógeno fue disminuyendo llegándose a obtener valores de hasta 0 ppm en la fase 2, esto implica que la calidad del biogás se vio mejorada ya que la baja concentración de H₂S implica la no corrosión de equipos y tuberías por donde circula el biogás. Así mismo, la disminución de la concentración de H₂S, es debido al pretratamiento tipo abono bokashi, ya que las bacterias fotosintéticas que están presentes en los microorganismos benéficos transforman las sustancias que producen olores desagradables como los derivados del sulfuro en ácidos orgánicos que producen mal olor (Meza, 2017). Así mismo, Kyan *et al*, (1999) mencionan que <<los gases nocivos como el sulfuro de hidrógeno es sintetizado por las bacterias fotosintéticas para ser convertido en sustancias útiles como aminoácido, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas, las cuales promueven el crecimiento de las plantas y actúan como sustrato para aumentar las poblaciones microbianas beneficiosas>>.

A continuación, en la Figura 28, se muestra el monitoreo realizado al monóxido de carbono.

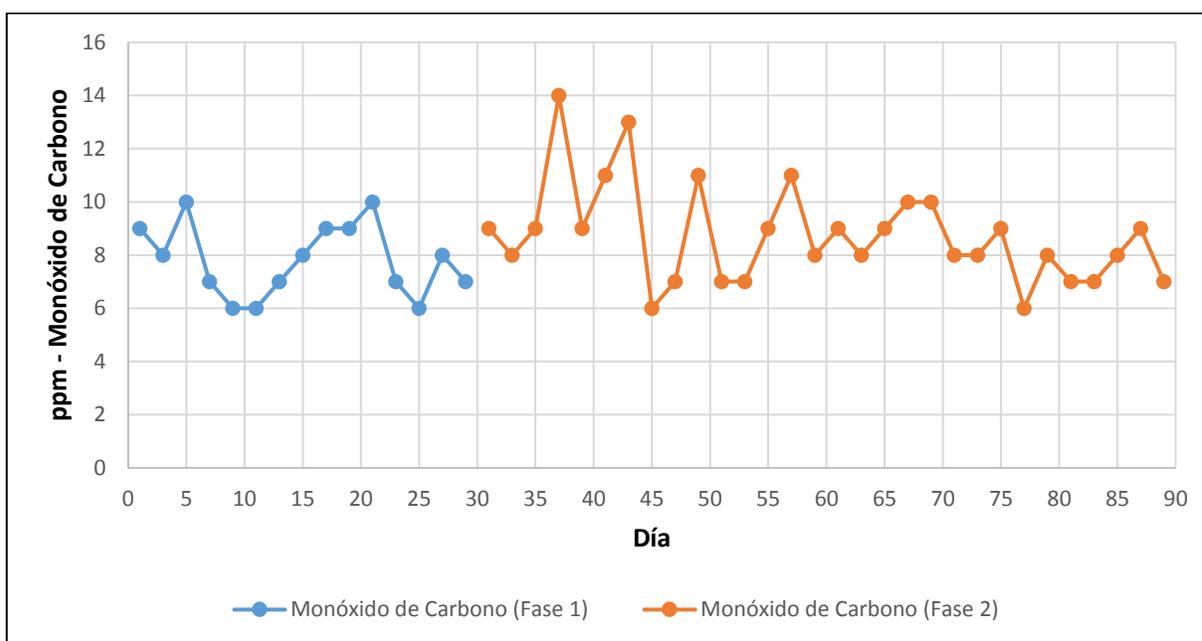


Figura 28: Partes por millón (ppm) del monóxido de carbono.

En la figura 28, se observa que el valor máximo de CO en la fase 1 fue de 10 ppm y el valor mínimo fue de 6 ppm. En la fase 2, el valor máximo fue de 13 ppm y el valor mínimo fue 6 ppm. De los datos ya mencionados, se observa que la concentración de monóxido de carbono durante las dos fases se mantuvo en valores muy similares, al ser un componente traza del biogás su variación no es muy significativa para la mejora de la calidad del biogás.

A continuación, en la Figura 29 se muestra el monitoreo del oxígeno en las tres fases.

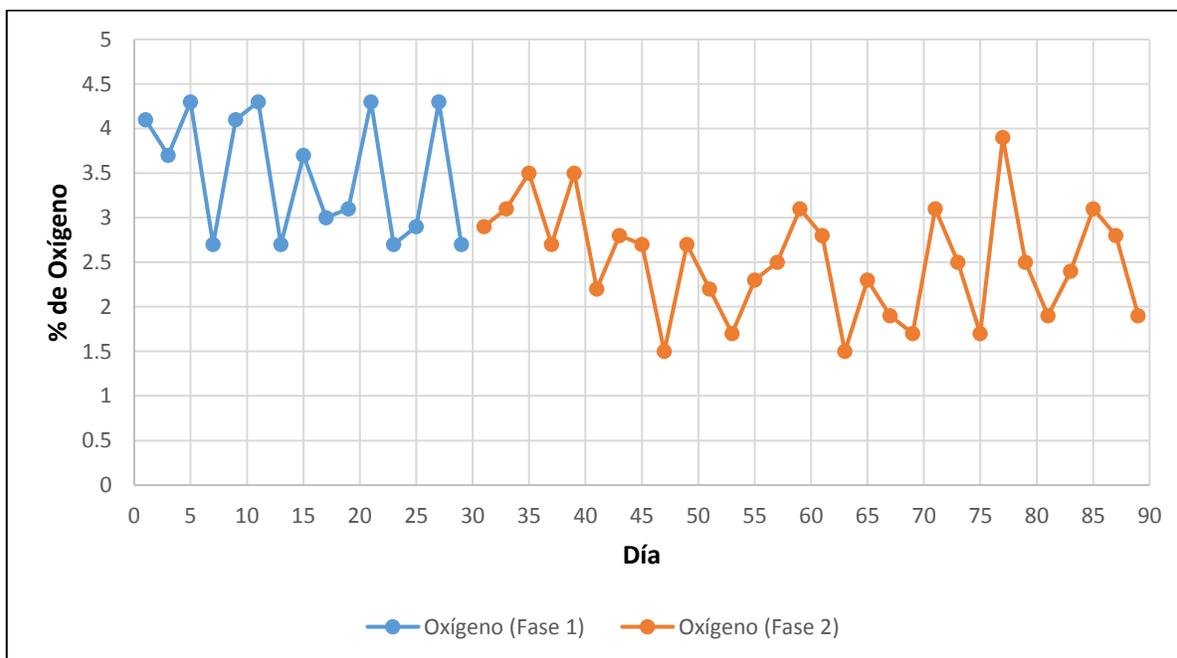


Figura 29: Porcentaje de oxígeno.

Se muestra en la Figura 30 que el valor máximo de O₂ de la fase 1 fue de 4.3 por ciento y el valor mínimo fue de 2.7 por ciento. En la fase 2, el valor máximo de fue de 3.5 por ciento y el valor mínimo fue de 1.7 por ciento. Al ser un reactor anaerobio se espera que la concentración de oxígeno se encuentre en valores muy cercano a 0; sin embargo, para poder realizar la medición de las concentraciones de los componentes del biogás se llevó muestras de biogás en cámaras como se muestra en la Figura 24.a, esto implicó que la concentración de oxígeno tenga valores más altos de lo esperado.

A continuación, en la Figura 30, se muestran los promedios de las concentraciones de metano, dióxido de carbono y de oxígeno por cada fase.

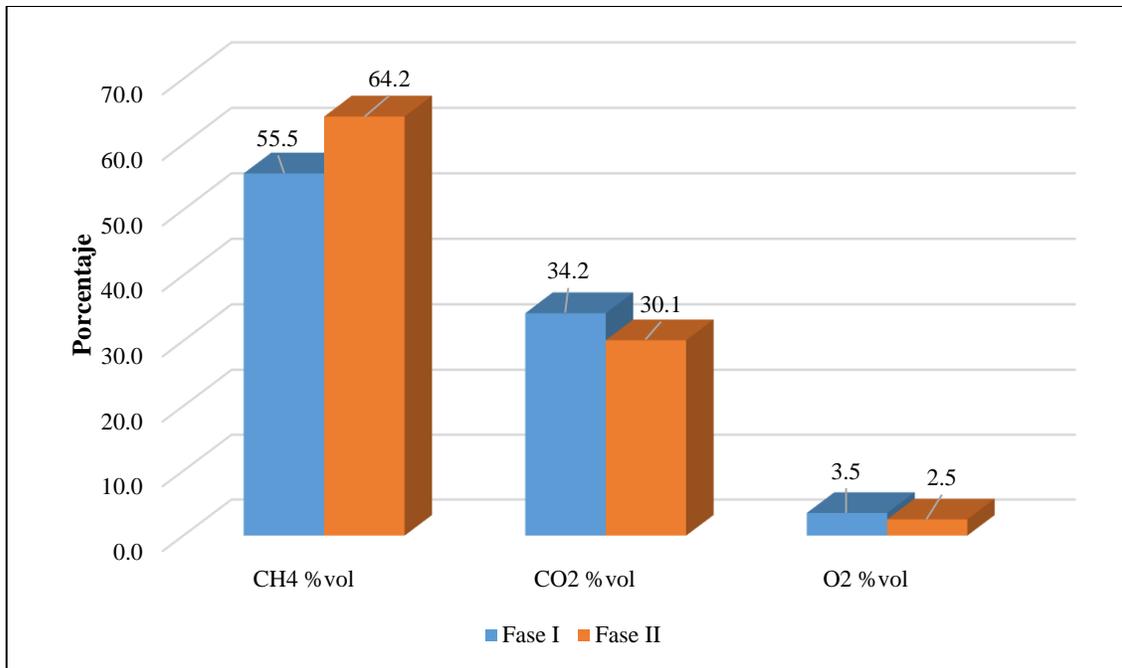


Figura 30: Promedio por fase de metano, dióxido de carbono y oxígeno.

Como se muestra en la Figura 30, el promedio de metano llegó a aumentar desde 55.5 por ciento en la fase 1 hasta 64.2 por ciento en la fase 2, notándose un aumento del 8.7 por ciento, y según Martí, *et al.*, (2018), el metano <es el único gas combustible de la mezcla >>, entonces al haber un aumento de este parámetro la calidad del biogás se ve mejorada ya que aumenta sus propiedades caloríficas producto de que se tiene más combustible en el biogás.

De igual manera, el promedio del dióxido de carbono (CO₂) disminuyó desde 34.2 por ciento en la fase 1 hasta 30.1 por ciento en la fase 2, notándose una reducción de 4.1 por ciento, y según Deublein y Steinhauser (2008.) esta reducción implica que el poder calorífico del biogás aumente y que la corrosión de equipos disminuya, ya que al combinarse con agua forma ácido carbónico.

Por último, el promedio de Oxígeno en las tres fases se encuentra por encima de lo estipulado por Wellinger, citado por Martí, *et al.* (2018), el cual menciona que el rango en el cual se encuentra este componente debe ser entre 0 a 1 por ciento, ya que el biodigestor es un sistema anaeróbico, sin embargo, se sugiere que los valores por encima de los estipulados se deben a que se trasladó el biogás en cámaras para poder realizar su análisis en laboratorio.

A continuación, en la Figura 31, se muestra el promedio por fase del sulfuro de hidrógeno y del monóxido de carbono.

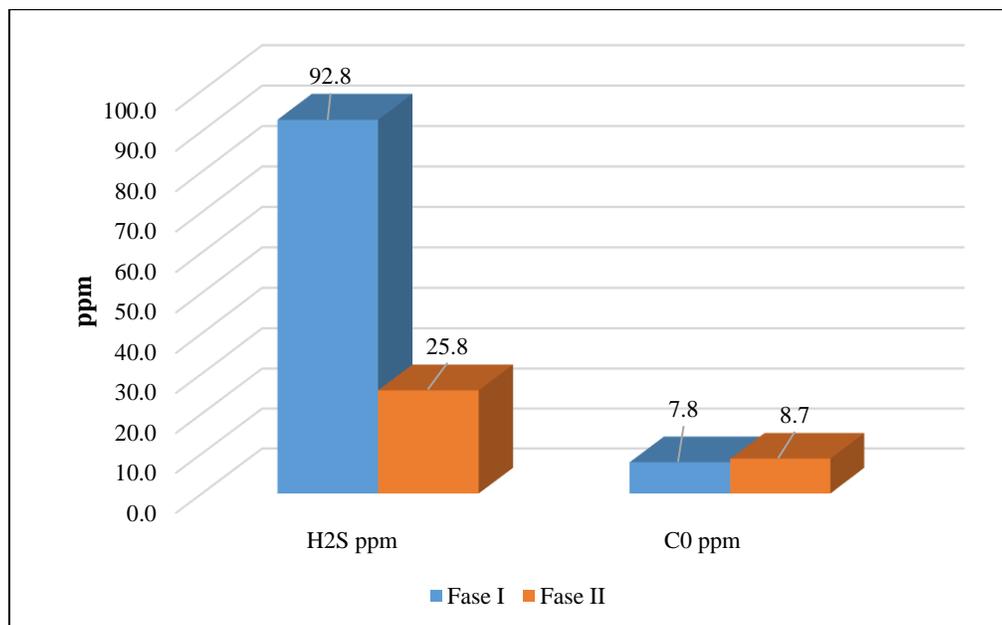


Figura 31: Promedio por fase de sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono.

Como se muestra en la Figura 31, el promedio de sulfuro de hidrógeno llegó a disminuir desde 92.8 ppm en la fase 1 hasta 25.8 ppm en la fase 2, notándose una disminución de 67 ppm, y según Martí, *et al.*, (2018), el sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) <<es una de las impurezas de mayor preocupación, por su toxicidad y corrosión. Ya que se forma en el biodigestor naturalmente por la presencia de azufre en el estiércol (proveniente de la alimentación de los animales con proteínas como la metionina)>> es por ello que hay la necesidad de remoción de este compuesto traza del biogás, ya que PROBIOGÁS (2015) menciona que <<El proceso de desulfurización es necesario para el mantenimiento de los componentes del sistema que pueden ser perjudicados a través de la acción corrosiva del ácido sulfuroso, resultante de la reacción entre sulfuro de hidrógeno y agua.>>.

Por otro lado, el promedio de monóxido de carbono llegó a subir de 7.8 ppm en la fase 1 hasta 8.7 ppm en la fase 2, notándose un aumento de 0.9 ppm, y según Lobato 2011, citado por PROBIOGÁS (2015), el valor típico de este componente traza se encuentra entre 0 a 0.3 por ciento, evidenciándose que se encuentra dentro de este rango.

II. Análisis microbiológicos y de nutrientes del biol de la Fase de campo

Los análisis de nutrientes y microbiológicos del biol, se realizaron en las fases 1 y 2, la finalidad fue observar la variación luego del proceso de biodigestión cuando se alimentó con el mejor tratamiento encontrado en laboratorio al biodigestor tubular que se instaló en Matucana, los análisis de laboratorio se muestran en los Anexos 21 al 25.

A continuación, en la Tabla 31 se muestra el análisis de nutrientes del biol.

Tabla 31: Análisis de nutrientes del biol en la fase de campo.

Parámetro	Unidad	Biol - Fase 1 - Después del proceso de biodigestión	Biol IG -Fase 2 - Después del proceso de biodigestión
pH	Unidad de pH	6.47	7.05
CE	dS/m	5.98	5.10
N total	mg/l	350	1309.00
P total	mg/l	40.24	97.87
K total	mg/l	325.17	328.00
Ca total	mg/l	275.00	527.50
Mg total	mg/l	185.50	176.25
Na total	mg/l	118.33	122.50

Respecto a los análisis de nutrientes del biol, se aprecia que el biol de la Fase 2, presenta una mayor concentración de N total, respecto al biol de la fase 1, cuyos valores son de 1309 mg/l para el biol de la fase 2 y de 350 mg/l para el biol de la fase 1, es decir el biol de la fase 2 presenta una concentración de N total de 3.74 veces más que el biol de la fase 1; respecto al P total, el biol de la fase 2 cuyo valor es de 97.87 mg/l presenta una concentración superior respecto al biol de la fase 1 cuyo valor es de 40.24 mg/l, siendo 2.43 veces más que el biol de la fase 1, por último el K total para ambos casos presentan valores muy similares, por lo tanto para este nutriente no se evidencia que hubo un variación.

A continuación, en la Tabla 32 se muestra el análisis de los parámetros microbiológicos del biol para las dos fases.

Tabla 32: Parámetros microbiológicos del biol en la fase de campo.

Análisis Microbiológico	Biol – Fase 1 – Antes del proceso de biodigestión	Biol – Fase 2 – Antes del proceso de biodigestión	Biol IG – Fase 2 – Después del proceso de biodigestión
Enumeración de Coliformes totales (NMP/100 ml)	70x10 ⁴	15x10	90x10 ²
Enumeración de Coliformes Fecales totales (NMP/100 ml)	70x10 ⁴	15x10	90x10 ²

Los parámetros microbiológicos del biol de la fase 1 antes del proceso de biodigestión muestran valores altos de microorganismos patógenos, así mismo, se aprecia que tanto para el análisis de coliformes totales y para el análisis de coliformes fecales, los valores son iguales. Se sabe que las bacterias del grupo coliforme se encuentran principalmente en los intestinos de los animales de sangre caliente y estos se introducen al medio ambiente por medio de sus excretas, motivo por el cual se deduce que la mayoría de los coliformes presentes en el ambiente son de origen fecal, de lo expuesto anteriormente, se sugiere que al usar las excretas de ganado vacuno. de todos los coliformes totales existentes la mayoría de estos son los fecales, es por ello que en primera instancia estos valores son iguales.

En el biol de la fase 2 que también se midió antes del proceso de digestión anaerobia, estos parámetros son menores, esto es posible producto de que en esta fase ya se está realizando el pretratamiento tipo abono bokashi, es por eso que las bacterias ácido lácticas presentes en el abono bokashi suprimieron los microorganismos patógenos presentes en el biol inicial de la fase 2. Así mismo, se observa que los valores de coliformes totales y fecales son iguales y esto se debe a que al usar excretas de ganado vacuno el principal coliforme que se encuentra en este residuo es el fecal. Por otro lado, las bacterias ácido lácticas de los MB son agentes esterilizadores y es por ello que redujo la presencia de ambos patógenos hasta valores iguales.

Se evidencia que en la fase 2, después del proceso de digestión anaerobia, hay una reducción de los parámetros microbiológicos respecto a la fase 1, sin embargo, respecto a la fase 2 antes de iniciarse el proceso de biodigestión, ocurre todo lo contrario, esto es posible debido a que en el interior del biodigestor tubular ya se tiene cargado una gran masa orgánica que se está

degradando para la producción de biogás, por esto, los parámetros microbiológicos se ven influenciados por esta mezcla que hace que los parámetros no hayan disminuido.

En la Tabla 33 se compara la eficiencia de remoción que hubo en el biol de la fase 1 y el biol de la fase 2.

Tabla 33: Resultado de la remoción de los parámetros microbiológicos.

Análisis Microbiológico	Biol – Fase 1 – Antes del proceso de biodigestión	Biol IG – Fase 2 – Después del proceso de biodigestión	Eficiencia de Remoción
Enumeración de Coliformes totales (NMP/100 ml)	70×10^4	90×10^2	99%
Enumeración de Coliformes Fecales totales (NMP/100 ml)	70×10^4	90×10^2	99%

Referente los coliformes fecales y totales, se evidencia que hubo una reducción de 2 unidades logarítmicas, es decir el biol de la Fase 2, presenta una menor cantidad de coliformes totales y fecales que el biol de la fase 1, evidenciando una eficiencia de remoción del 90 por ciento para ambos análisis microbiológicos.

V. CONCLUSIONES

- La producción de microorganismos benéficos realizado con residuos de cartucho y ortiga provenientes del anexo de Soca, perteneciente al distrito de Matucana, mantuvo un pH estable con valores entre 3.4 a 3.65 a partir del día 15 de su elaboración hasta el día 30 que finalizó el monitoreo del pH, este valor de pH aseguró la predominancia de bacterias ácido lácticas.
- Durante el proceso de digestión anaerobia en los biodigestores batch, el tratamiento 2 (bokashi de estiércol + agua) obtuvo la mayor producción de metano y biogás con valores de 0.132 m³/Kg ST y 0.210 m³/Kg ST respectivamente. Por otro lado, la mejor calidad acumulada de biogás expresado en porcentaje de metano, también lo obtuvo el tratamiento 2, llegando a un máximo de 68.3 por ciento en la semana 2.
- El tratamiento que presentó una mejor calidad de biol en los biodigestores batch fue el tratamiento 2 (bokashi de estiércol + agua), debido a que las concentraciones de P total, K total y Ca total fueron significativamente mayores a los demás tratamientos, sin embargo, para el N total y Mg total estos valores fueron homogéneos con los demás tratamientos.
- El análisis de los componentes del biogás en el biodigestor tubular, muestra que el porcentaje promedio de metano, tuvo un incremento de 8.7 por ciento en la Fase 2 (64.7%) respecto a la Fase 1 (55.5%), así mismo para la medición promedio del CO₂, se tuvo una disminución del 4.1 por ciento en la fase 2 (30.1%) respecto a la Fase 1 (34.2%). Por otra parte, el promedio de la medición de H₂S, tuvo una disminución de 67 ppm en la Fase 2 (25.8 ppm) respecto a la Fase 1 (92.8 ppm).

- La eficiencia de remoción en el biodigestor tubular respecto a los coliformes totales y fecales fue del 99 por ciento en la fase 2 respecto a la fase 1, es decir hubo una reducción de dos unidades logarítmicas. Por otro lado, respecto a los macronutrientes el biol de la Fase 2, presenta 3.74 veces más de N total que el biol de la fase 1, siendo sus valores de 1309 mg/l y 350 mg/l respectivamente. De igual manera, la concentración de P total en el biol de la fase 2 (97.87 mg/l) es de 2.43 veces más que el biol de la fase 1 (40.24 mg/l), sin embargo, para el K total no se evidencia un incremento de estos valores.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda no manipular el preparado de microorganismos benéficos, ya que puede sufrir contaminación por agentes patógenos, así mismo se recomienda realizar el preparado en ambientes cálidos, ya que acelerará la fermentación.
- En las pruebas tipo batch, en la cual se utilizan botellas de vidrio transparentes, se recomienda hacer una prueba de hermeticidad para evitar posibles fugas de biogás, así mismo es recomendable mantener los biodigestores cubiertos o pintados de color negro, para impedir el paso de luz solar al interior, a fin de evitar la proliferación de algas y/o microorganismos fotosintéticos.
- Se recomienda mantener el pH en los rangos óptimos de 6.5 - 7.5 cuando se hace el cargado al biodigestor, de ser el caso que el pH este fuera de este rango se debe encalar hasta llegar a un pH cercano a la neutralidad.
- Se recomienda dejar madurar por más tiempo el fertilizante líquido (biol) antes de extraer las muestras ya que las características fisicoquímicas se verán potenciadas.
- En el caso de obtener resultados de bioles con concentraciones altas de patógenos, se recomienda tratar posteriormente el biol mediante bioles de segunda generación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AAE (Agencia Andaluza de Energía). 2011. Estudio básico del biogás. Sevilla – España. Consultado 12 jun. 2018. Disponible en https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf
2. Álvarez, M.S. 2018. Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay – Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa. Tesis Doctoral. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 342 p.
3. Aparcana, S. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación anaeróbica” para la producción de biogás. Jansen, A. Surco, Perú. Professional energy and environmental consultancy. Perú.
4. ARIAS, A. 2010. Microorganismos Eficientes y su Beneficio Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Journal de Ciencia e Ingeniería 2(2): 42-45.
5. Arzate, J.A; Kirstein, M; Ertem, C; Kielhorn, E; Ramirez, H; Neubauer, P; Cruz-Bournazou, N.M; Junne, S. 2017. Anaerobic Digestion Model (AM2) for the Description of Biogas Processes at Dynamic Feedstock Loading Rates. Chemie Ingenieur Technik, p. 686-695.
6. BID. 2009. Manual Práctico de Uso de EM. 2009: 33.
7. Blanco, D. 2011. Tratamiento biológico aerobio-anaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost. Tesis Doctoral. España, Universidad de León. 265 p.
8. Botero, R. 2009. Biogás a bajo costo en Costa Rica. Consultado 13 jun. 2018. Disponible en news.bbc.co.uk/1/hi/spanish/forums/newsid_7937000/7937917.stm
9. Capcha, L. M. 2014. Evaluación de la Macroalga *Ulva lactuca* como aportante de nutrientes a un inóculo metanogénico en la producción de biogás y biol mediante digestión anaerobia de residuos orgánicos del comedor de la UNALM. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. UNALM. 100 p.

10. Cárdenas, J.C. 2012. Evaluación de la calidad de biogás y biol en biodigestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM. Tesis Ing. Amb. Lima, Perú, UNALM. 132 p.
11. 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 Ing. Amb. Lima, Perú, UNALM. 139 p.
12. Cárdenas, J; Quipuzco, L; Meza, V. 2013. Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. Rev. Del Instituto de Investigación (RIIGEO). V 32, n.16, 7-12 p.
13. Castromonte, R; Fernández, L; Quispe, J; Paico, M. 2010. Mejoramiento y ampliación de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Matucana, Distrito de Matucana, Provincia de Huarochiri-Región Lima. Matucana, Perú. 157p.
14. Cendales, ED. 2011. Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. Tesis Mg. Sc. Ing. Mecánico. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
15. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: Producción de gas y saneamiento de efluentes. Lima, Perú. 77 p.
16. Deublein, D; Steinhäuser, A. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources. 2 Ed, Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
17. Drogos, B. 2010. Metodología batch-test (Diapositivas). Studiengang Umwelttechnik. Viena. 8 diapositivas.
18. Drogos, B; Braun, R; Bochmann, G. 2013. Analysis and Characterization of Biogas Feedstock. In: The Biogas Handbook: Science, production and applications, Wellinger, A; Murphy, JD; Baxter, D. (eds), Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
19. Ferrer, I; Gamiz, M; Almeida, M; Ruiz, A. 2009. Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla. Lima-Perú. Waste Manag. 29. 168-173 p.

20. Fernández, L. 2018. Producción de un bokashi de residuos de lisa (*Mugil Cephalus*) para el cultivo de la microalga *tetraselmis suecica* (*chlorophyta*). Tesis para optar el título de Biólogo. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 126 p.
21. FONCODES (Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social). 2014. Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus: Proyecto “Mi chacra emprendedora - Haku Wiñay”. Lima, Perú. Depósito Legal de la Biblioteca Nacional del Perú. 43 p.
22. Herrera, R. E. (2017). Elaboracion de un abono liquido a partir de residuos de fresa (Fragraria x ananassa) por fermentacion lactica. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Lima, Peru. UNALM
23. Higa, T; Parr, J.F. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environmet. Atami, Japan. INFRC (International Nature Farming Research Center).
24. Jaramillo, G; Zapata, L.M. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Monografía para optar el título de especialistas en Gestión Ambiental. Colombia. Universidad de Antioquía.
25. Kyan, T; Shintani, M; Kanda, S; Sakurai, Masanobu; Ohashi, Hiroyasu; Fuijasawa, A; Pongdit, S. 1999. Kyusei Nature Farming and The Technology of Effective Microorganisms: Guidelines for practical use. Bangkok, Thailand. 44p
26. Madigan, M.T; Martinko, J.M; Parker, J. 2004. Brock: biología de los microorganismos. 10 ed. Madrid, España, Pearson Educación. 1096 p.
27. Martí, J. 2011. Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. España. International Center of Numerical Methods in Engineering (CIMNE).
28. Martí, J; Pino, M; Gallo, L; Ximena, G; Rodríguez, L; Viquez, J. 2016. Oportunidades para el desarrollo de un sector sostenible de biodigestores de pequeña y mediana escala en LAC. Chile. Red de Biodigestores para Latinoamérica (Redbiolac).52 p.
29. Martí, J; Pino, M; Viquez, J. 2018. Biogás en el sector lechero de Chile: Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento, seguimiento y control de plantas de biogás de pequeña y mediana escala enfocadas al sector lechero en Chile. Ministerio de Energía del gobierno de Chile. 192 p.

30. Meza, V. 2017. IV Curso Práctico: Elaboración de abono mediante fermentación bacteriana a partir de residuos orgánicos (Diapositiva). Lima, Perú. Centro de Gestión y Tecnología Ambiental de la UNALM.
31. MINAG (Ministerio de Agricultura y riego). 2012. Decreto Supremo N° 016-2012-AG, Reglamento de los residuos sólidos del sector agropecuario. Diario Oficial El Peruano. Perú. Nov de 2012.
32. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2017. Decreto Legislativo N° 1278, Ley de gestión integral de los residuos sólidos. Diario Oficial el Peruano. Perú. Abril de 2017.
33. Ministerio de Energía de la República de Chile (2017). Decreto 119, Reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas. Diario Oficial de la República de Chile. Chile. Febrero, 2017.
34. Muhammad, I; Mohd, T. I. 2015. Pretreatment of lignocellulosic biomass from animal manure as a means of enhancing biogas production. Engineering in life sciences. 15: 733-742.
35. Nihorimbere, V; Ongena, M; Smargiassi, M; Thonar, P. 2011. Beneficial effect of the Rhizosphere Microbial Community for Plant Growth and Health. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 15(2): 327-337.
36. Ocaña, F. 2011. Biodigestor anaerobio de laboratorio. Proyecto fin de carrera Ing. Químico. Leganés, España., Universidad Carlos III de Madrid. 116 p.
37. Pérez, J. A. 2010. Estudio y diseño de un Biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Memoria para optar el Título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago de Chile, Universidad de Chile. 77 p.
38. Pinto, L. 2012. Aprovechamiento de aguas residuales domesticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina.
39. PROBIAGÁS (2015). Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás. 1 ed. Brasilia. Ministério das Cidades. 85 p.
40. Quipuzco, L. 2012. Diseño de biodigestores y parámetros (diapositivas). Módulo III. Tercer Diplomado en Saneamiento Sostenible. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina.

41. Quipuzco, L. 2016. Curso de Residuos Sólidos (Diapositivas). Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 29 diapositivas
42. Rojas, H. R. 2014. Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina. 77 p.
43. Salamanca, J. 2009. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico. Tesis Ing. Químico. Quito, Ecuador, Universidad San Francisco de Quito. 131 p.
44. Schlaefli, F. 2010. Tratamiento de Residuos Orgánicos del comedor universitario de la UNALM en un biodigestor semi-continuo para la producción de biogás y biol. Lima. Tesis Ing. Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina.
45. Shintani, M; Leblanc, H; Tabora, P. 2000. BOKASHI (Abono Orgánico Fermentado). Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. 1 Ed. Limón, Costa Rica. EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda). 25p.
46. Soria, M; Ferrera, R; Etchevers, J; Alcántar, G; Trinidad, J; Borges, L; Pereyda, G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra latinoamericana,19(4):353-362.
47. Taherzadeh, M; Karimi, K. 2008. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production. International Journal of Molecular Sciences. 1621- 1651 p.
48. Tinco, J. C; Vásquez, L. M. 2005. Compostaje con residuos de cosecha de Pallar (*Phaseolus lunatus*) usando tres tipos de estiércoles y microorganismos caseros efectivos. Tesis impresa. Ciclo optativo de profesionalización en Gestión de la Calidad y Auditoria Ambiental. Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina.
49. Torres, A. A. 2013. Influencia del abono bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. Lima. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina.
50. TrabelsI, D; MhamdI, R. 2013. Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review. BioMed Research International 2013: 1-11.

51. Vadakattu, G. 2012. Beneficial Microorganisms for Sustainable Agriculture. *Official Journal of the Australian Society for Microbiology* INC 33(3): 113-115.
52. Valdez, B. 2016. Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del parque zoológico de Huachipa. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 116 p.
53. Van Fan, Y; Tin Lee, C; Jaromír, J; Suan Chua, L; Roji, M; Woh Leow, C. 2017. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. *ELSEVIER (Journal of Environmental Management)*. 1-8 p.
54. Varnero, M. 2011. Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago de Chile. Ed Proyecto CHI/00/G32. 120 p
Consultado 12 jun. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
55. Velásquez, J. 2013. Recuperación de andenes y manejo del agua en la comunidad campesina Barrio Bajo de Matucana. Matucana, Perú. p 15-16
56. Wilkinson, KM. 2009. Nursery Manual for Native Plants: A guide for Tribal Nurseries. Nursery Management. *Agriculture Handbook 730*. Washington, D.C., Forest Service, v.1, p.247-261.
57. Zedláková, Z; Kárászová, M; Vejrazka, J; Morávková, L; Esposito, E; Fuoco, Alessio; Carolus Jansen , J; Izák, P. 2017. Biomethane Production from Biogas by Separation Using Thin-Film Composite Membranes. *Chemical Engineering Technology*. p 821-828

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Relación C/N del estiércol.

II



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA
LA AGRICULTURA
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRÍ/ MATUCANA
MUESTRA DE : ESTIÉRCOL DE VACUNO
REFERENCIA : H.R. 60840
FECHA : 13/10/17

Nº LAB	CLAVES	Relación C/N	N %	C %
105		21.40	1.76	37.67

Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Teléf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 3495622
e-mail: labsuelolamolina.edu.pe

Anexo 2: Relación C/N del cartucho.



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA
LA AGRICULTURA
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRÍ/ MATUCANA
MUESTRA DE : HOJAS DE CARTUCHO
REFERENCIA : H.R. 60841
FECHA : 13/10/17

Nº LAB	CLAVES	Relación C/N	N %	C %
105		14.06	3.33	46.83

Sady García Bendezú
 jefe de Laboratorio

Anexo 3: Análisis de agua.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 008299

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL
PROCEDENCIA : Arroyo de un anexo soca- Matucana- Lima Provincia
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 31 de Octubre del 2017

Nº LABORATORIO	8299
Nº DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.73
pH	8.16
Calcio meq/l	4.82
Magnesio meq/l	0.92
Sodio meq/l	1.44
Potasio meq/l	0.08
SUMA DE CATIONES	7.26
Cloruro meq/l	2.39
Sulfato meq/l	1.50
Bicarbonato meq/l	3.09
Nitratos meq/l	0.05
Carbonatos meq/l	0.38
SUMA DE ANIONES	7.41
SAR	0.85
CLASIFICACION	C2-S1
Boro ppm	0.72

Dureza total mgCaCO₃/L	286.44
Alcalinidad total mgCaCO₃/L	154.45
Sólidos suspendidos mg/L	11.00
Fierro mg/L	0.23
Cobre mg/L	<0.035
Zinc mg/L	<0.012
Manganeso mg/L	0.04
Plomo mg/L	<0.001
Cadmio mg/L	<0.005
Cromo mg/L	<0.05
Turbidez NTU	8.50

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo 4: Comportamiento del pH y CE de los microorganismos benéficos.

DÍA	pH	Temperatura con el pH-metro	Conductividad	T° con el conductímetro
	unidades de pH	°C	mS/cm	°C
0	7.01	21.1	57	21
1	6.55	21.4	56.7	21.2
2	6.13	19.7	62.0	20
3	4.88	19.9	63.0	20
4	4.91	20.4	64.6	20.2
5	4.78	21.2	65	21
6	4.78	19.2	65.2	19.3
7	4.76	20.9	66	20.7
8	4.78	19.7	64.1	19.5
9	4.5	20.1	64	20
10	4.51	21.7	64.4	21.5
11	4.48	18.5	64.1	18.4
12	4.22	21.5	63.7	21.2
13	4.1	21.3	63.9	21.1
14	4.05	21.5	63.7	21.4
15	3.65	21.1	63.7	21.3
16	3.65	20.8	63.8	21
17	3.64	21.9	63.1	21.9
18	3.52	21.7	63.2	21.8
19	3.45	21.5	63	22
20	3.43	22.5	63.1	22.5
21	3.43	19.7	63.7	19.6
22	3.4	20.1	63.8	20.1
23	3.51	19.7	63.1	19.9

“Continuación”

24	3.59	20.1	63.2	20.1
25	3.6	21.7	63.7	21.7
26	3.6	18.5	63.8	18
27	3.61	21.5	63.1	22.1
28	3.6	21.3	63.2	21.2
29	3.59	21.5	63	21.5
30	3.6	21.1	63.1	21.1

Anexo 5: Conteo de microorganismos benéficos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

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



INFORME DE ENSAYO N° 1712763 - LMT

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO
MUESTRA : PREPARADO DE MB
1712763)

PROCEDENCIA : UNALM
TIPO DE ENVASE : Botella de Plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 12 - 15
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 12 - 15
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 12 - 15
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 12 - 22

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1712763
¹ Recuento de mohos y levaduras (UFC/mL)	11 x 10 ⁵
¹ Recuento de anaerobios (UFC/mL)	20 x 10 ³
¹ Recuento de <i>Lactobacillus sp.</i> (UFC/ml.)	32 x 10 ⁵

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

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

²American Public Health Association. 1992. Compendium of methods for the Microbiological Examination of foods. 3^{ra} Ed. Chapter 13.

³Zapater J. 1975. Evaluación en el maíz del coeficiente rizósfera-suelo (R/S) referidos a bacterias libres fijadoras de N₂. Anales científicos de la UNALM 13:45-57.

⁴Anderson J. 1982. Soil respiration. En: Page A., Miller R., Kenney D. (Eds.) Methods of Soil Analysis Part II. Chemical and Microbiological

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

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

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 05 de enero de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

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

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

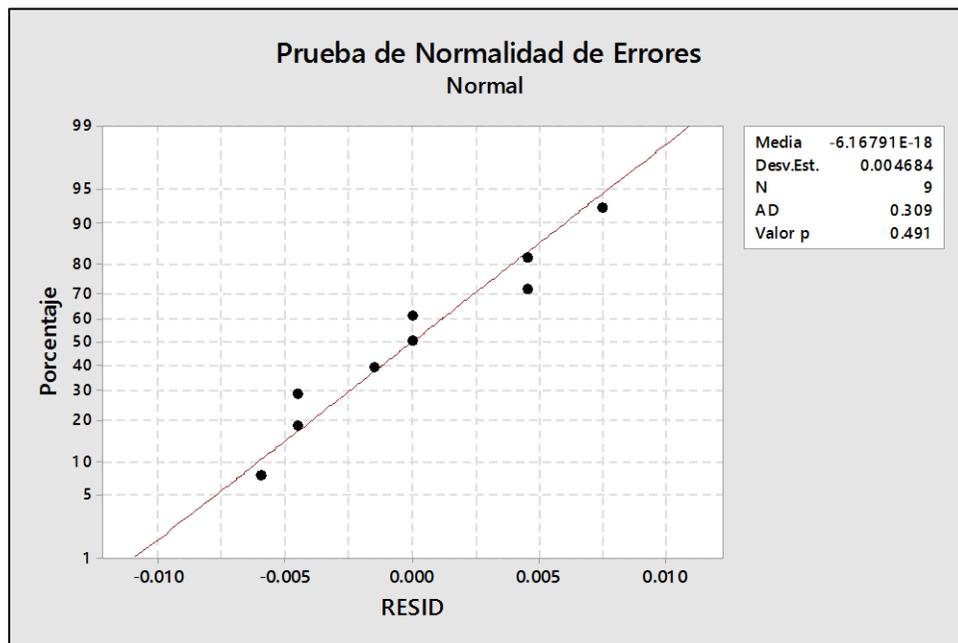
Teléfono: (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

Anexo 6: Análisis de varianza (ANOVA) del pretratamiento 1.

Prueba de Normalidad de Errores

Hipótesis nula	Los residuos se distribuyen normalmente
Hipótesis alterna	Los residuos no se distribuyen normalmente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba	AD = 0.309
P-valor	0.491

Gráfica:



Prueba de igualdad de varianzas: %Acidez Láctica Vs. Método Método

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

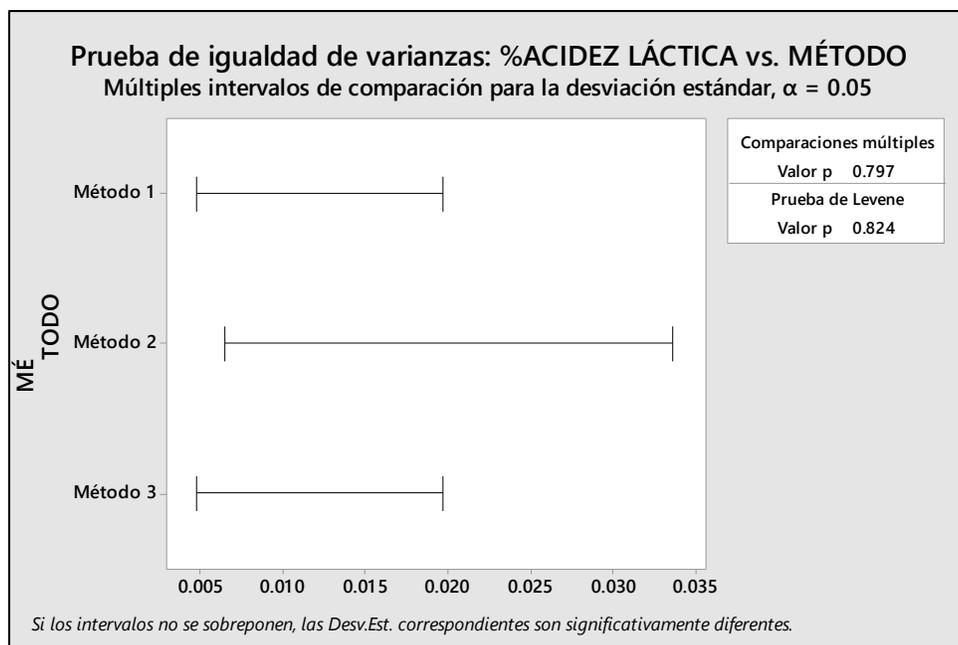
MÉTODO	N	Desv.Est.	IC
Método 1	3	0.0045000	(0.0000591, 1.69499)
Método 2	3	0.0068739	(0.0000903, 2.58914)
Método 3	3	0.0045000	(0.0000591, 1.69499)

Nivel de confianza individual = 98.3333%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.797
Levene	0.20	0.824

Gráfica de igualdad de varianzas: %Acidez Láctica Vs. Método



ANOVA de un solo factor: %Acidez Láctica Vs. Método

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
MÉTODO	3	Método 1, Método 2, Método 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
MÉTODO	2	0.003798	0.001899	64.92	0.000
Error	6	0.000175	0.000029		
Total	8	0.003973			

Resumen del modelo

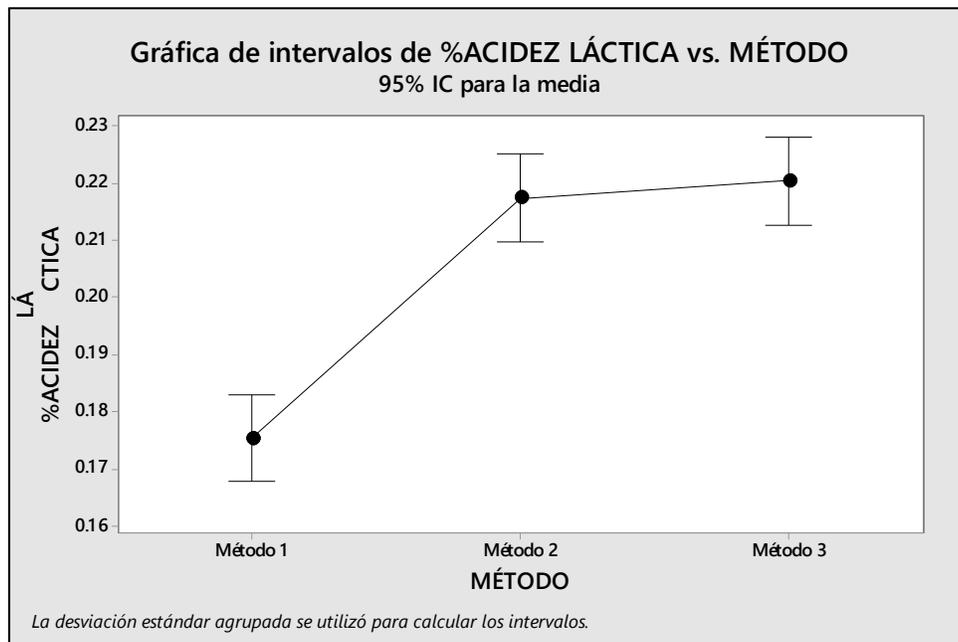
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0054083	95.58%	94.11%	90.06%

Medias

MÉTODO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Método 1	3	0.17550	0.00450	(0.16786, 0.18314)
Método 2	3	0.21750	0.00687	(0.20986, 0.22514)
Método 3	3	0.22050	0.00450	(0.21286, 0.22814)

Desv.Est. agrupada = 0.00540833

Gráfica de intervalos de %ACIDEZ LÁCTICA vs. MÉTODO

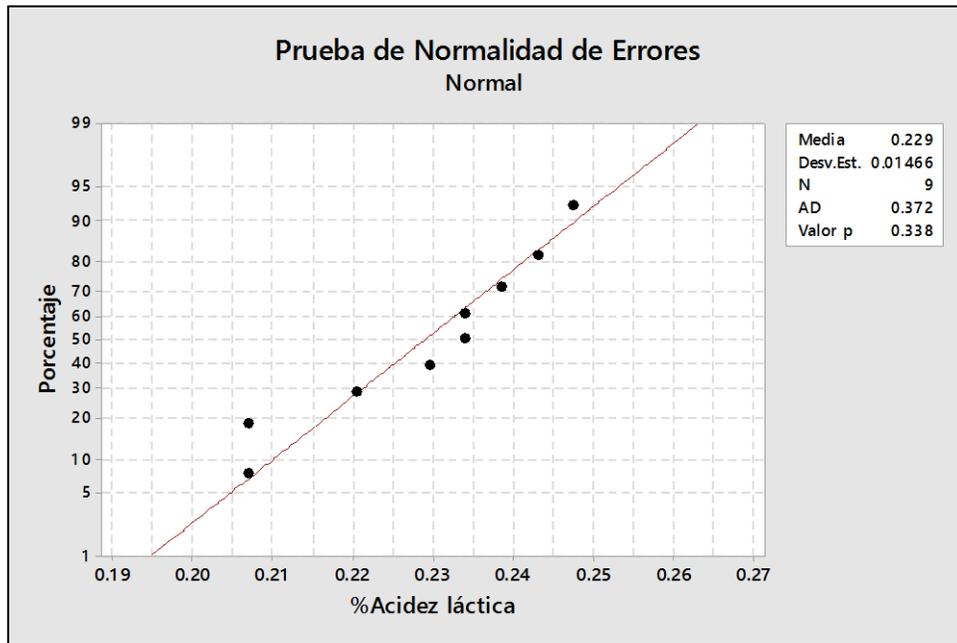


Anexo 7: Análisis de varianza (ANOVA) del pretratamiento 2.

Prueba de Normalidad de Errores

Hipótesis nula	Los residuos se distribuyen normalmente
Hipótesis alterna	Los residuos no se distribuyen normalmente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba	AD = 0.372
P-valor	0.338

Gráfica:



Prueba de igualdad de varianzas: %Acidez láctica vs. Método Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

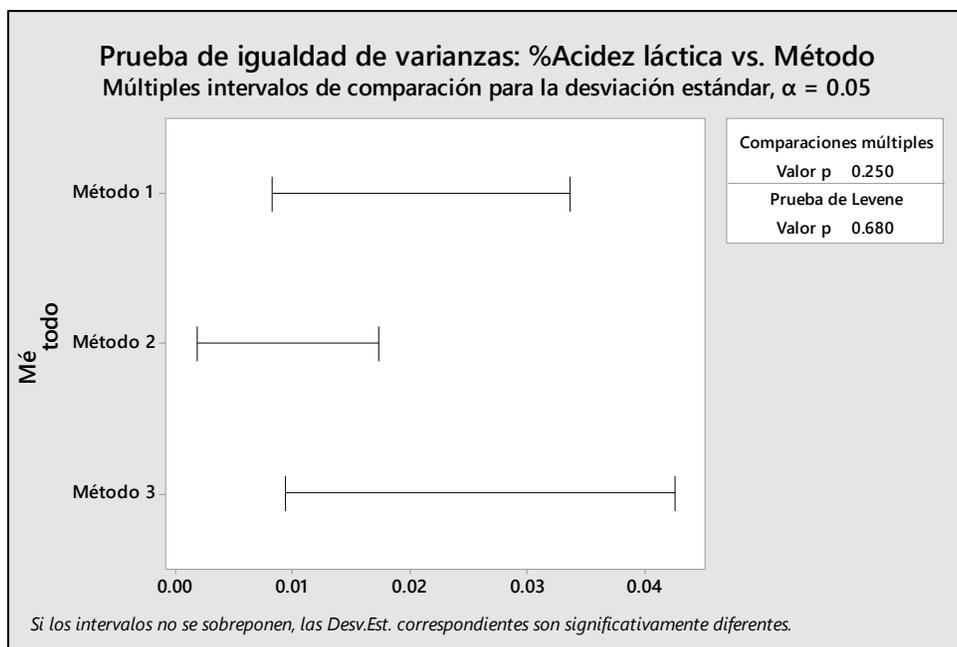
Método	N	Desv.Est.	IC
Método 1	3	0.0077942	(0.0001024, 2.93581)
Método 2	3	0.0025981	(0.0000341, 0.97860)
Método 3	3	0.0093675	(0.0001231, 3.52841)

Nivel de confianza individual = 98.3333%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.250
Levene	0.41	0.680

Gráfica de igualdad de varianzas: %Acidez láctica vs. Método



ANOVA de un solo factor: %Acidez láctica vs. Método

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Método	3	Método 1, Método 2, Método 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Método	2	0.001409	0.000704	13.61	0.006
Error	6	0.000310	0.000052		
Total	8	0.001719			

Resumen del modelo

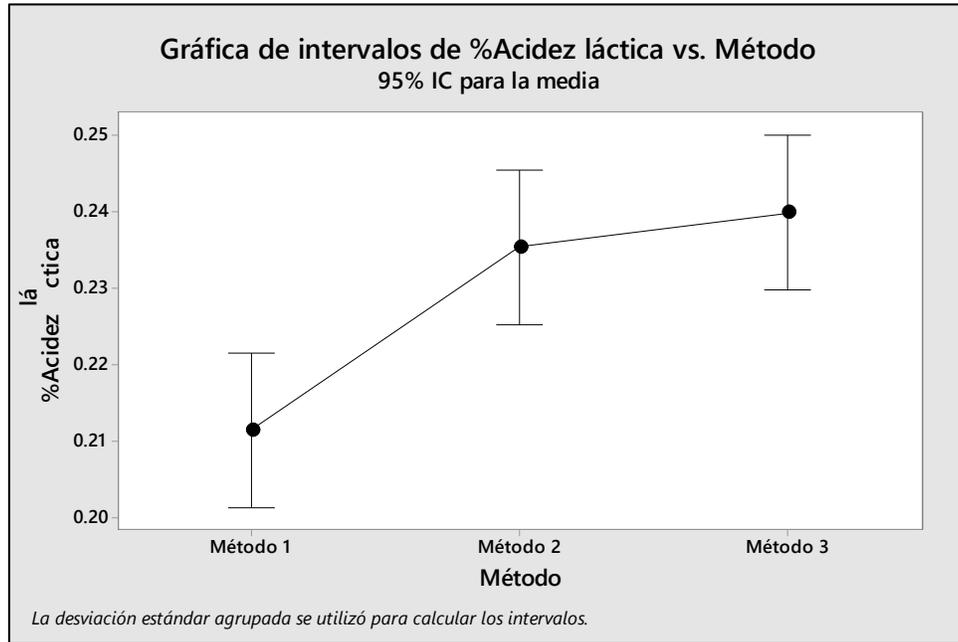
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0071937	81.94%	75.92%	59.36%

Medias

Método	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Método 1	3	0.21150	0.00779	(0.20134, 0.22166)
Método 2	3	0.23550	0.00260	(0.22534, 0.24566)

Método 3 3 0.24000 0.00937 (0.22984, 0.25016)
Desv.Est. agrupada = 0.00719375

Gráfica de intervalos de %Acidez láctica vs. Método



Anexo 8: Volumen diario de metano producido a condiciones normales.

Días	Fecha	Volumen unitario (Litros)				Volumen acumulado (Litros)			
		T1 Mezcla 1	T2 Mezcla 2	T3 Mezcla 3	T4 Mezcla 4	T1 Mezcla 1	T2 Mezcla 2	T3 Mezcla 3	T4 Mezcla 4
1	19/02/18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20/02/18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	21/02/18	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
4	22/02/18	0.02	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00
5	23/02/18	0.04	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00
8	26/02/18	0.05	0.00	0.22	0.00	0.12	0.00	0.33	0.00
9	27/02/18	0.04	0.00	0.09	0.02	0.16	0.00	0.41	0.02
10	28/02/18	0.05	0.00	0.10	0.03	0.21	0.00	0.51	0.05
11	01/03/18	0.11	0.04	0.10	0.05	0.32	0.04	0.62	0.11
12	02/03/18	0.23	0.06	0.10	0.07	0.54	0.10	0.72	0.18
15	05/03/18	0.28	0.20	0.30	0.11	0.82	0.29	1.02	0.28
16	06/03/18	0.08	0.10	0.09	0.07	0.90	0.39	1.11	0.36
17	07/03/18	0.12	0.09	0.13	0.06	1.02	0.48	1.24	0.41
18	08/03/18	0.11	0.10	0.16	0.08	1.13	0.58	1.39	0.49
19	09/03/18	0.13	0.16	0.16	0.07	1.26	0.75	1.56	0.57
22	12/03/18	0.31	0.54	0.37	0.23	1.56	1.28	1.93	0.80
23	13/03/18	0.09	0.04	0.12	0.09	1.65	1.32	2.05	0.89
24	14/03/18	0.09	0.05	0.09	0.13	1.74	1.37	2.14	1.02
25	15/03/18	0.06	0.04	0.06	0.12	1.80	1.41	2.20	1.14
26	16/03/18	0.06	0.19	0.05	0.14	1.86	1.59	2.26	1.28
29	19/03/18	0.13	0.56	0.13	0.63	1.99	2.15	2.39	1.91
30	20/03/18	0.03	0.37	0.04	0.09	2.02	2.52	2.43	2.00
31	21/03/18	0.07	0.39	0.08	0.11	2.09	2.91	2.51	2.11
32	22/03/18	0.06	0.28	0.06	0.13	2.15	3.18	2.57	2.25
33	23/03/18	0.05	0.22	0.05	0.10	2.20	3.41	2.62	2.35
36	26/03/18	0.06	0.39	0.12	0.24	2.26	3.80	2.74	2.59
37	27/03/18	0.04	0.24	0.05	0.12	2.30	4.04	2.79	2.71
38	28/03/18	0.04	0.25	0.05	0.14	2.34	4.29	2.84	2.85
39	29/03/18	0.02	0.23	0.04	0.13	2.36	4.53	2.88	2.98
40	30/03/18	0.02	0.18	0.04	0.10	2.38	4.70	2.92	3.08
43	02/04/18	0.05	0.30	0.09	0.20	2.43	5.01	3.01	3.28
44	03/04/18	0.01	0.05	0.02	0.09	2.44	5.05	3.03	3.37
45	04/04/18	0.02	0.04	0.02	0.06	2.46	5.10	3.05	3.42
46	05/04/18	0.01	0.05	0.02	0.06	2.48	5.15	3.07	3.49
47	06/04/18	0.01	0.09	0.02	0.05	2.49	5.24	3.08	3.54
50	09/04/18	0.02	0.20	0.06	0.11	2.51	5.44	3.15	3.65
51	10/04/18	0.01	0.07	0.02	0.06	2.52	5.51	3.16	3.70

“Continuación”

52	11/04/18	0.01	0.06	0.01	0.04	2.53	5.58	3.18	3.74
53	12/04/18	0.01	0.05	0.01	0.02	2.54	5.63	3.19	3.76
54	13/04/18	0.01	0.04	0.01	0.04	2.54	5.67	3.20	3.80
57	16/04/18	0.00	0.08	0.02	0.08	2.54	5.75	3.23	3.88
58	17/04/18	0.00	0.02	0.01	0.02	2.54	5.77	3.24	3.91
59	18/04/18	0.01	0.02	0.01	0.01	2.55	5.78	3.25	3.92
60	19/04/18	0.00	0.01	0.00	0.00	2.55	5.80	3.25	3.92
61	20/04/18	0.00	0.01	0.00	0.01	2.55	5.81	3.25	3.93

Anexo 9: Volumen semanal de metano.

Semana	Volumen promedio semanal				Volumen acumulado semanal			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
	(Mezcla 1)	(Mezcla 2)	(Mezcla 3)	(Mezcla 4)	(Mezcla 1)	(Mezcla 2)	(Mezcla 3)	(Mezcla 4)
1	13.5	22.05	0.0	0.0	67.4	110.3	0.0	0.0
2	95.2	121.47	20.0	35.0	543.5	717.6	99.8	175.0
3	143.0	167.68	129.7	78.4	1258.5	1556.0	748.2	567.1
4	120.4	140.02	169.3	141.6	1860.6	2256.1	1594.5	1275.1
5	68.8	72.46	362.8	214.2	2204.5	2618.4	3408.7	2346.3
6	35.2	59.33	259.2	147.0	2380.4	2915.1	4704.8	3081.4
7	22.6	33.96	106.8	91.7	2493.3	3084.9	5238.6	3540.0
8	10.0	23.98	86.6	52.2	2543.2	3204.8	5671.8	3800.8
9	1.2	9.45	27.0	26.1	2549.3	3252.0	5806.6	3931.2

Anexo 10: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de producción de metano.

ANÁLISIS PARA EL VOLUMEN ACUMULADO SEMANAL DE METANO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semana	7	50419133	7202733	12.78	0.000
tratamiento	3	8943813	2981271	5.29	0.007
Error	21	11831780	563418		
Total	31	71194726			

Comparaciones para Volumen Acumulado

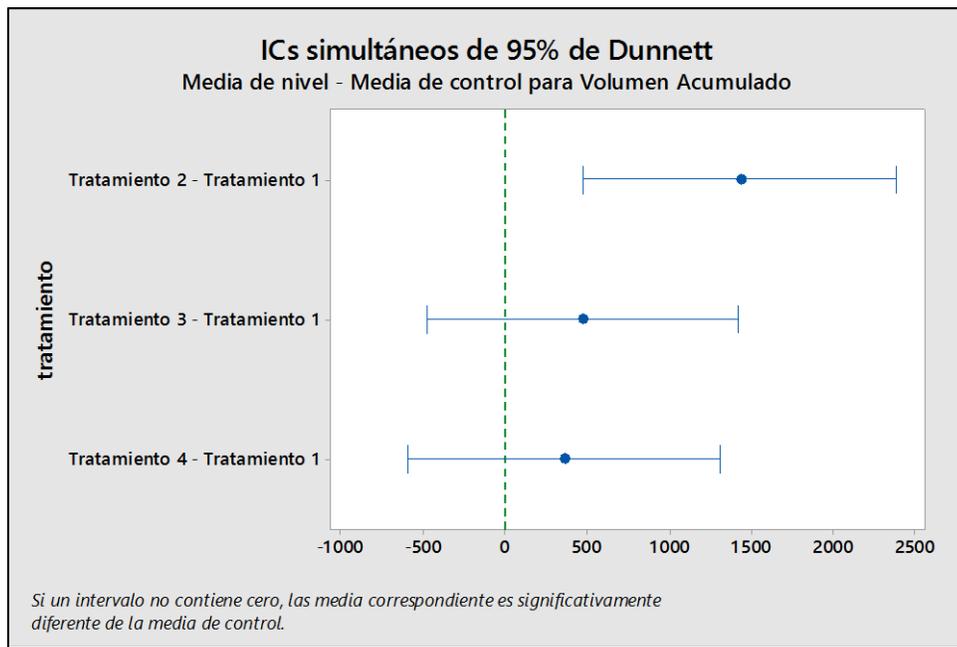
Comparaciones múltiples de Dunnett con un control: tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

tratamiento	N	Media	Agrupación
Tratamiento 1 (Control)	8	1979.16	A
Tratamiento 2	8	3409.13	
Tratamiento 3	8	2450.61	A
Tratamiento 4	8	2339.61	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

ICs simultáneos de 95% de Dunnett



ANÁLISIS PARA EL VOLUMEN PROMEDIO SEMANAL DE METANO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semana	7	88757	12680	3.33	0.015
tratamiento	3	31045	10348	2.72	0.070
Error	21	79932	3806		
Total	31	199735			

Comparaciones para Volumen promedio semanal CH4

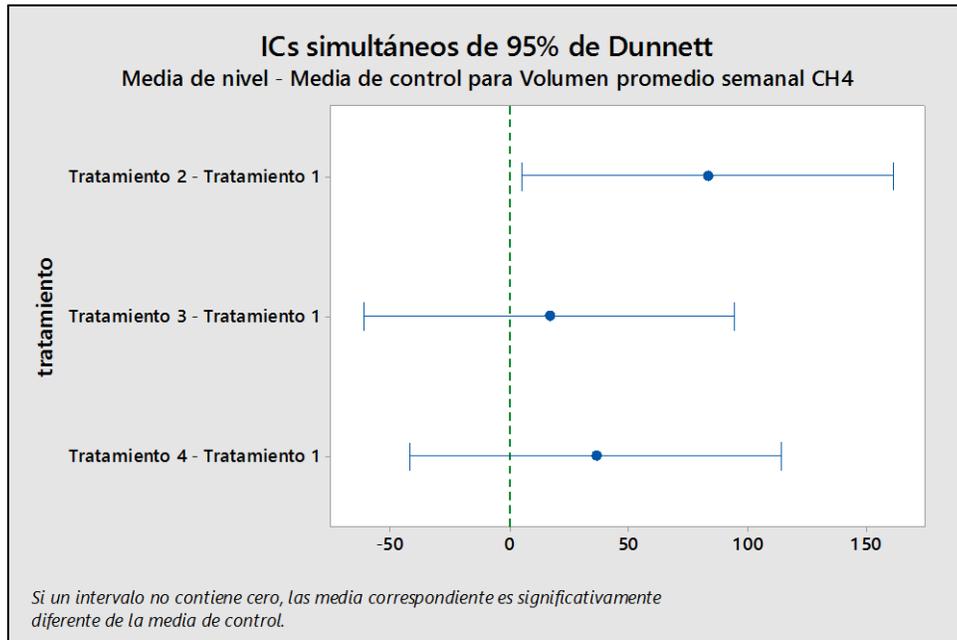
Comparaciones múltiples de Dunnett con un control: tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

tratamiento	N	Media	Agrupación
Tratamiento 1 (Control)	8	62.050	A
Tratamiento 2	8	145.175	
Tratamiento 4	8	98.275	A
Tratamiento 3	8	78.544	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

ICs simultáneos de 95% de Dunnett



Anexo 11: Volumen de biogás producido a condiciones normales.

Días	Fecha de medición	Volumen unitario diario				Volumen acumulado			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
1	19/02/18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	20/02/18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	21/02/18	21.88	0.00	23.63	0.00	21.88	0.00	23.63	0.00
4	22/02/18	33.26	0.00	60.39	0.00	55.13	0.00	84.01	0.00
5	23/02/18	75.26	0.00	114.64	0.00	130.40	0.00	198.66	0.00
8	26/02/18	92.77	0.00	351.81	0.00	223.16	0.00	550.47	0.00
9	27/02/18	91.02	0.00	140.90	39.38	314.18	0.00	691.37	39.38
10	28/02/18	96.27	0.00	151.40	59.51	410.44	0.00	842.77	98.89
11	01/03/18	183.78	54.26	165.40	88.39	594.22	54.26	1008.17	187.28
12	02/03/18	299.30	91.89	167.15	88.39	893.52	146.15	1175.32	275.67
15	05/03/18	391.19	396.44	503.21	167.15	1284.71	542.59	1678.53	442.82
16	06/03/18	115.52	190.78	146.15	112.89	1400.23	733.37	1824.68	555.72
17	07/03/18	162.78	178.53	202.16	90.14	1563.01	911.90	2026.84	645.86
18	08/03/18	172.40	201.28	239.79	112.02	1735.41	1113.19	2266.63	757.88
19	09/03/18	212.66	302.80	218.79	113.77	1948.07	1415.99	2485.41	871.65
22	12/03/18	421.82	752.63	552.22	325.55	2369.90	2168.61	3037.63	1197.20
23	13/03/18	154.90	52.51	196.91	138.27	2524.80	2221.12	3234.54	1335.47
24	14/03/18	127.77	68.26	144.40	203.91	2652.57	2289.38	3378.94	1539.38
25	15/03/18	87.51	57.76	101.52	197.78	2740.08	2347.14	3480.46	1737.16
26	16/03/18	107.64	277.42	84.89	228.41	2847.72	2624.56	3565.34	1965.58
29	19/03/18	183.78	736.00	216.16	962.66	3031.51	3360.56	3781.51	2928.24
30	20/03/18	63.89	481.33	81.39	149.65	3095.39	3841.89	3862.89	3077.89
31	21/03/18	115.52	483.08	124.27	189.91	3210.91	4324.97	3987.16	3267.79
32	22/03/18	118.14	361.44	121.65	205.66	3329.06	4686.41	4108.81	3473.45
33	23/03/18	110.27	353.56	116.39	163.65	3439.32	5039.97	4225.20	3637.11
36	26/03/18	196.03	551.34	182.91	455.95	3635.36	5591.31	4408.11	4093.06
37	27/03/18	77.01	404.32	80.51	180.28	3712.37	5995.62	4488.62	4273.34
38	28/03/18	71.76	392.07	77.01	187.28	3784.13	6387.69	4565.64	4460.62
39	29/03/18	48.13	332.56	76.14	187.28	3832.26	6720.25	4641.77	4647.90

“Continuación”

40	30/03/18	40.26	273.92	58.63	163.65	3872.52	6994.17	4700.41	4811.55
43	02/04/18	121.65	513.71	159.28	403.44	3994.17	7507.88	4859.69	5214.99
44	03/04/18	24.50	85.76	31.51	143.52	4018.67	7593.64	4891.19	5358.52
45	04/04/18	35.01	83.14	39.38	125.15	4053.68	7676.78	4930.57	5483.66
46	05/04/18	28.00	99.77	28.88	129.52	4081.68	7776.55	4959.45	5613.19
47	06/04/18	25.38	167.15	26.25	109.39	4107.06	7943.70	4985.71	5722.58
50	09/04/18	78.76	436.70	101.52	291.42	4185.82	8380.40	5087.22	6014.00
51	10/04/18	31.51	148.77	48.13	98.89	4217.33	8529.17	5135.36	6112.89
52	11/04/18	22.75	140.02	28.00	86.64	4240.08	8669.20	5163.36	6199.53
53	12/04/18	22.75	114.64	26.25	84.89	4262.84	8783.84	5189.62	6284.42
54	13/04/18	18.38	106.77	27.13	74.39	4281.21	8890.61	5216.74	6358.81
57	16/04/18	40.26	184.66	53.38	171.53	4321.47	9075.26	5270.13	6530.34
58	17/04/18	19.25	53.38	21.00	57.76	4340.72	9128.65	5291.13	6588.10
59	18/04/18	17.50	38.51	19.25	26.25	4358.23	9167.15	5310.39	6614.35
60	19/04/18	12.25	49.01	12.25	14.00	4370.48	9216.16	5322.64	6628.36
61	20/04/18	3.50	28.00	9.63	16.63	4373.98	9244.17	5332.26	6644.98

Anexo 12: Volumen de biogás analizados semanalmente.

Semana	Volumen promedio semanal				Volumen acumulado semanal			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
	(Mezcla 1)	(Mezcla 2)	(Mezcla 3)	(Mezcla 4)	(Mezcla 1)	(Mezcla 2)	(Mezcla 3)	(Mezcla 4)
1	26.1	0.0	33.11	0.0	130.4	0.0	198.7	0.0
2	152.6	29.2	195.33	55.1	893.5	146.1	1175.3	275.7
3	210.9	254.0	262.02	119.2	1948.1	1416.0	2485.4	871.6
4	179.9	241.7	215.99	218.8	2847.7	2624.6	3565.3	1965.6
5	118.3	483.1	131.97	334.3	3439.3	5040.0	4225.2	3637.1
6	86.6	390.8	95.04	234.9	3872.5	6994.2	4700.4	4811.6
7	46.9	189.9	57.06	182.2	4107.1	7943.7	4985.7	5722.6
8	34.8	189.4	46.21	127.2	4281.2	8890.6	5216.7	6358.8
9	18.6	70.7	23.10	57.2	4374.0	9244.2	5332.3	6645.0

Anexo 13: Análisis de varianza (ANOVA) para la producción de biogás.

ANÁLISIS PARA EL VOLUMEN ACUMULADO SEMANAL DE BIOGÁS

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semana	7	131653794	18807685	15.56	0.000
Tratamiento	3	18370591	6123530	5.07	0.009
Error	21	25379912	1208567		
Total	31	175404297			

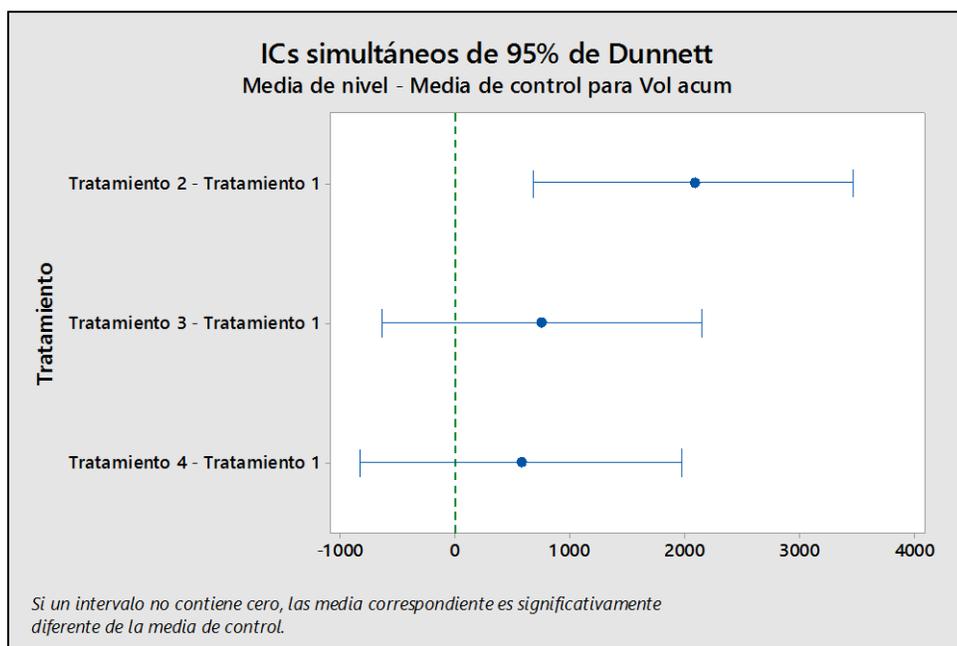
Comparaciones múltiples de Dunnett con un control: Tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Tratamiento 1 (Control)	8	3220.43	A
Tratamiento 2	8	5287.43	
Tratamiento 3	8	3960.79	A
Tratamiento 4	8	3786.00	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

ICs simultáneos de 95% de Dunnett



ANÁLISIS PARA EL VOLUMEN PROMEDIO SEMANAL DE BIOGÁS

Análisis de Varianza

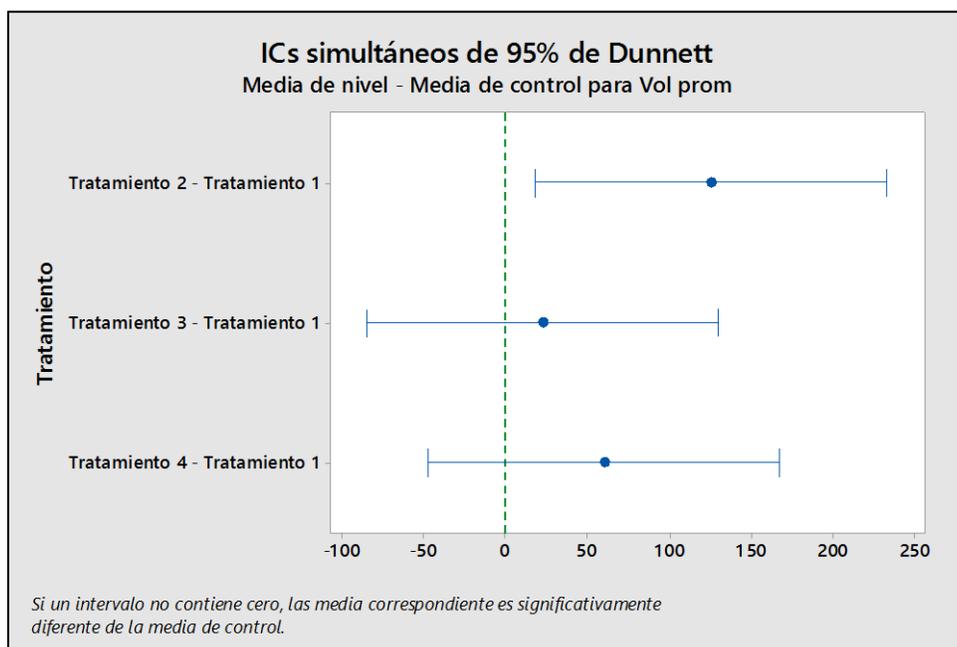
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semana	7	162432	23205	3.24	0.017
Tratamiento	3	71882	23961	3.34	0.039
Error	21	150525	7168		
Total	31	384839			

Comparaciones múltiples de Dunnett con un control: Tratamiento
Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Tratamiento 1 (Control)	8	106.075	A
Tratamiento 2	8	231.100	
Tratamiento 4	8	166.112	A
Tratamiento 3	8	128.340	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

ICs simultáneos de 95% de Dunnett



Anexo 14: Calidad del biogás (metano/biogás) %.

Semana	Calidad promedio semanal				Calidad acumulada semanal			
	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)	T1 (Mezcla 1)	T2 (Mezcla 2)	T3 (Mezcla 3)	T4 (Mezcla 4)
1	26.1	33.11	0.0	0.0	130.4	198.7	0.0	0.0
2	152.6	195.33	29.2	55.1	893.5	1175.3	146.1	275.7
3	210.9	262.02	254.0	119.2	1948.1	2485.4	1416.0	871.6
4	179.9	215.99	241.7	218.8	2847.7	3565.3	2624.6	1965.6
5	118.3	131.97	483.1	334.3	3439.3	4225.2	5040.0	3637.1
6	86.6	95.04	390.8	234.9	3872.5	4700.4	6994.2	4811.6
7	46.9	57.06	189.9	182.2	4107.1	4985.7	7943.7	5722.6
8	34.8	46.21	189.4	127.2	4281.2	5216.7	8890.6	6358.8
9	18.6	23.10	70.7	57.2	4374.0	5332.3	9244.2	6645.0

Anexo 15: Análisis de Varianza (ANOVA) de la calidad de biogás.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE BIOGÁS PARA EL VOLUMEN PROMEDIO SEMANAL

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semana	7	4045.0	577.86	8.04	0.000
Tratamiento	3	671.9	223.97	3.11	0.048
Error	21	1510.0	71.91		
Total	31	6226.9			

Comparaciones para Calidad de Biogás

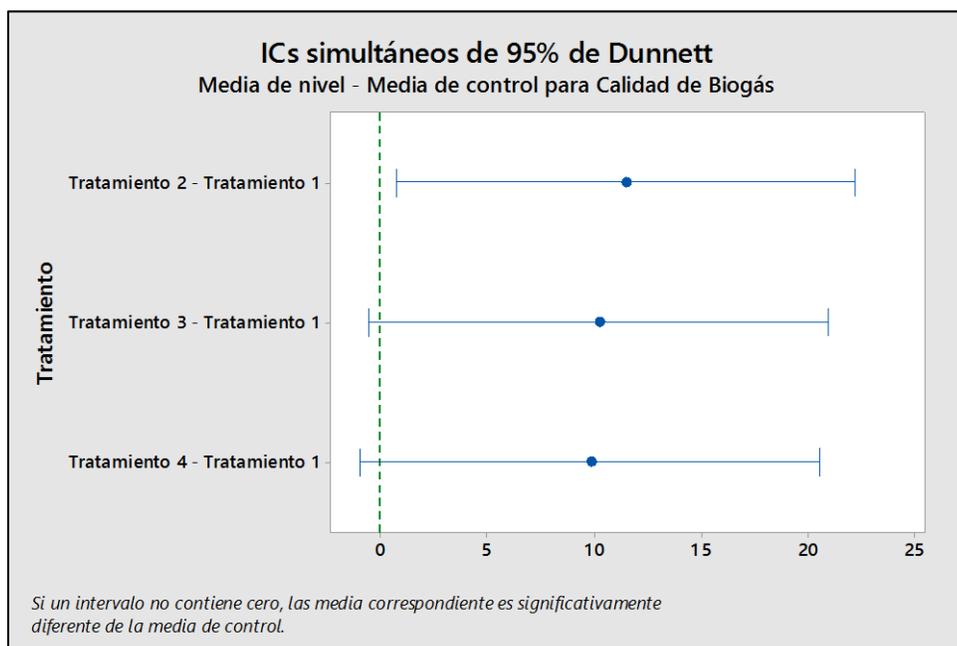
Comparaciones múltiples de Dunnett con un control: Tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Tratamiento 1 (Control)	8	47.3875	A
Tratamiento 2	8	58.8500	
Tratamiento 3	8	57.5750	A
Tratamiento 4	8	57.2000	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

ICs simultáneos de 95% de Dunnett



Anexo 16: Análisis de nutrientes del biol luego de la digestión anaerobia.



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

OLICITANTE : DIEGO CÓNDOR LÓPEZ
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
 MUESTRA DE : BIOL
 REFERENCIA : H.R. 63320
 FACTURA : 1976
 FECHA : 11/05/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
351	Mezcla 1- repetición 1 Estiercol + Agua (BIOGAS)	7.14	5.86	6.00	3.77	429.33	49.37	379.50
352	Mezcla 1- repetición 1 Estiercol + Agua (METANO)	7.32	5.73	5.74	3.49	434.00	43.49	279.50
353	Mezcla 1- repetición 2 Estiercol + Agua (BIOGAS)	7.19	5.85	5.93	3.60	424.67	39.48	270.25
354	Mezcla 1- repetición 2 Estiercol + Agua (METANO)	7.30	5.68	6.60	4.14	434.00	44.43	286.25

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
351	Mezcla 1- repetición 1 Estiercol + Agua (BIOGAS)	340.00	195.25	115.00
352	Mezcla 1- repetición 1 Estiercol + Agua (METANO)	295.00	175.00	110.00
353	Mezcla 1- repetición 2 Estiercol + Agua (BIOGAS)	270.00	194.25	105.00
354	Mezcla 1- repetición 2 Estiercol + Agua (METANO)	290.00	175.50	97.50

Sady García Bendezú
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Teléf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 3495622
 e-mail: labsuelolamolina.edu.pe



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : DIEGO CÓNDROR LÓPEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 63320
FACTURA : 1976
FECHA : 11/05/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
359	Mezcla 2- repetición 1 Estiercol + Agua + mob's (BIOGAS)	7.19	9.00	11.59	5.67	396.67	74.43	496.25
360	Mezcla 2- repetición 1 Estiercol + Agua + mob's (METANO)	7.17	9.11	12.13	6.40	410.67	72.21	483.00
361	Mezcla 2- repetición 2 Estiercol + Agua + mob's (BIOGAS)	7.18	8.76	13.31	6.27	485.33	81.04	490.00
362	Mezcla 2- repetición 2 Estiercol + Agua + mob's (METANO)	7.14	8.09	15.37	6.84	541.33	84.39	492.50

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
359	Mezcla 2- repetición 1 Estiercol + Agua + mob's (BIOGAS)	1037.50	164.25	900.00
360	Mezcla 2- repetición 1 Estiercol + Agua + mob's (METANO)	1305.00	187.00	825.00
361	Mezcla 2- repetición 2 Estiercol + Agua + mob's (BIOGAS)	1462.50	186.50	950.00
362	Mezcla 2- repetición 2 Estiercol + Agua + mob's (METANO)	1562.50	198.75	650.00

Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : DIEGO CÓNDROR LÓPEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 63320
FACTURA : 1976
FECHA : 11/05/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
355	Mezcla 3- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho (BIOGAS)	7.18	6.33	6.77	4.01	494.67	40.24	417.50
356	Mezcla 3- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho (METANO)	7.32	6.77	6.39	3.61	564.67	32.63	430.75
357	Mezcla 3- repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho (BIOGAS)	7.18	6.75	6.14	3.59	499.33	29.58	384.50
358	Mezcla 3- repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho (METANO)	7.25	7.08	7.13	4.06	606.67	36.35	378.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
355	Mezcla 3- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho (BIOGAS)	280.00	185.50	140.00
356	Mezcla 3- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho (METANO)	342.50	184.00	127.50
357	Mezcla 3- repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho (BIOGAS)	277.50	190.00	130.00
358	Mezcla 3- repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho (METANO)	291.00	186.75	157.50

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : DIEGO CÓNDOR LÓPEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 63320
FACTURA : 1976
FECHA : 11/05/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
363	Mezcla 4- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (BIOGAS)	7.18	8.94	10.43	4.24	364.00	50.52	508.75
364	Mezcla 4- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (METANO)	7.16	8.96	8.41	3.24	359.33	47.30	468.25
365	Mezcla 4 - repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (BIOGAS)	7.21	8.95	10.84	4.34	378.00	50.14	478.50
366	Mezcla 4 - repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (METANO)	7.13	8.87	8.09	3.14	370.00	43.49	486.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
363	Mezcla 4- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (BIOGAS)	570.00	192.75	875.00
364	Mezcla 4- repetición 1 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (METANO)	597.50	150.50	800.00
365	Mezcla 4 - repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (BIOGAS)	530.00	173.50	900.00
366	Mezcla 4 - repetición 2 Estiercol + Agua + cartucho + mob's (METANO)	530.00	147.00	800.00

M. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Teléf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 3495622
e-mail: labsuelolamolina.edu.pe

Anexo 17: Análisis de Coeficiente de variabilidad de nutrientes del biol.

Estad. descriptivos: pH -T1, pH -T2, pH -T3, pH -T4
Estadísticas

Variable	Medi	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
pH -T1	7.237	0.0866	0.0075	1.20
pH -T2	7.170	0.0216	0.0005	0.30
pH -T3	7.232	0.0670	0.0045	0.93
pH -T4	7.170	0.0337	0.0011	0.47

Estad. descriptivos: CE -T1, CE -T2, CE -T3, CE -T4
Estadísticas

Variable	Med	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
CE -T1	5.780	0.0891	0.0079	1.54
CE -T2	8.740	0.457	0.209	5.23
CE -T3	6.732	0.308	0.095	4.57
CE -T4	8.930	0.0408	0.0017	0.46

Estad. descriptivos: ST -T1, ST -T2, ST - T3, ST -T4
Estadísticas

Variable	Medi	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
ST -T1	6.068	0.371	0.138	6.11
ST -T2	13.09	1.677	2.812	12.80
ST - T3	6.608	0.434	0.188	6.57
ST -T4	9.443	1.394	1.944	14.76

Estad. Descr.: M.O - T1, M.O - T2, M.O - T3, M.O - T4
Estadísticas

Variable	Medi	Desv.Est.	Varianz	CoefVar
M.O - T1	3.750	0.287	0.082	7.65
M.O - T2	6.296	0.484	0.234	7.69
M.O - T3	3.819	0.253	0.064	6.63
M.O - T4	3.743	0.638	0.407	17.04

Estad. descriptivos: N total - T1, N total -T2, N total ... total - T4
Estadísticas

Variable	Medi	Desv.Es.	Varianza	CoefVar
N total - T1	430.5	4.47	19.96	1.04
N total - T2	458.5	67.6	4564.3	14.73
N total - T3	541.3	54.0	2918.2	9.98
N total - T4	367.8	8.06	65.00	2.19

Estadísticos descriptivos: P total -T1, P total -T2, P total - ... total - T4
Estadísticas

Variable	Medi	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
P total - T1	44.19	4.07	16.54	9.20
P total - T2	78.02	5.67	32.12	7.26
P total - T3	34.70	4.62	21.30	13.30
P total - T4	47.86	3.25	10.55	6.79

Estadísticos descriptivos: K total - T1, K total - T2, K total ... total - T4
Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
K total - T1	303.9	50.8	2584.9	16.73
K total - T2	490.4	5.58	31.18	1.14
K total - T3	402.7	25.5	649.1	6.33
K total - T4	485.3	17.20	295.77	3.54

Estadísticos descriptivos: Ca total -T1, Ca total -T2, Ca
 ... , Ca total -T4

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
Ca total -T1	298.8	29.5	872.9	9.89
Ca total -T2	1342	229	52413	17.06
Ca total -T3	297.9	30.4	922.2	10.19
Ca total -T4	563.6	28.1	787.6	4.98

Estadísticos descriptivos: Mg total -T1, Mg total -T2, Mg
 ... g total -T4

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
Mg total -T1	185.00	11.27	126.96	6.09
Mg total -T2	184.13	14.41	207.60	7.83
Mg total -T3	186.56	2.55	6.52	1.37
Mg total -T4	165.9	21.4	457.7	12.89

Estadísticos descriptivos: Na total -T1, Na total -T2, Na
 ... Na total -T4

Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
Na total -T1	106.88	7.47	55.73	6.98
Na total -T2	831.3	131.3	17239.6	15.80
Na total -T3	138.75	13.62	185.42	9.81
Na total -T4	843.8	51.5	2656.2	6.11

Anexo 18: Análisis de Varianza (ANOVA) para resultados de los nutrientes del biol.

ANOVA de un solo factor: pH vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.01695	0.005650	1.66	0.227
Error	12	0.04075	0.003396		
Total	15	0.05770			

Resumen del modelo

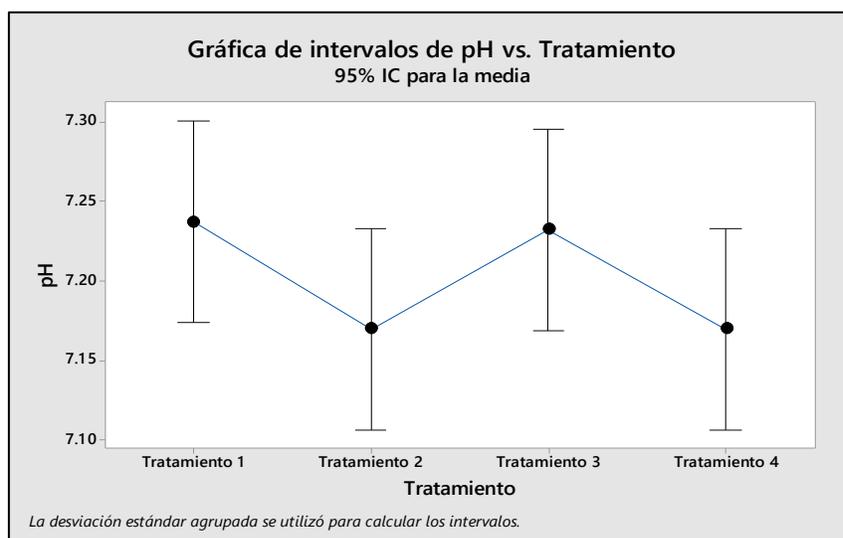
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0582738	29.38%	11.72%	0.00%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	7.2375	0.0866	(7.1740, 7.3010)
Tratamiento 2	4	7.1700	0.0216	(7.1065, 7.2335)
Tratamiento 3	4	7.2325	0.0670	(7.1690, 7.2960)
Tratamiento 4	4	7.1700	0.0337	(7.1065, 7.2335)

Desv.Est. agrupada = 0.0582738

Gráfica de intervalos de pH vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: CE vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	28.4865	9.49551	121.13	0.000
Error	12	0.9407	0.07839		
Total	15	29.4272			

Resumen del modelo

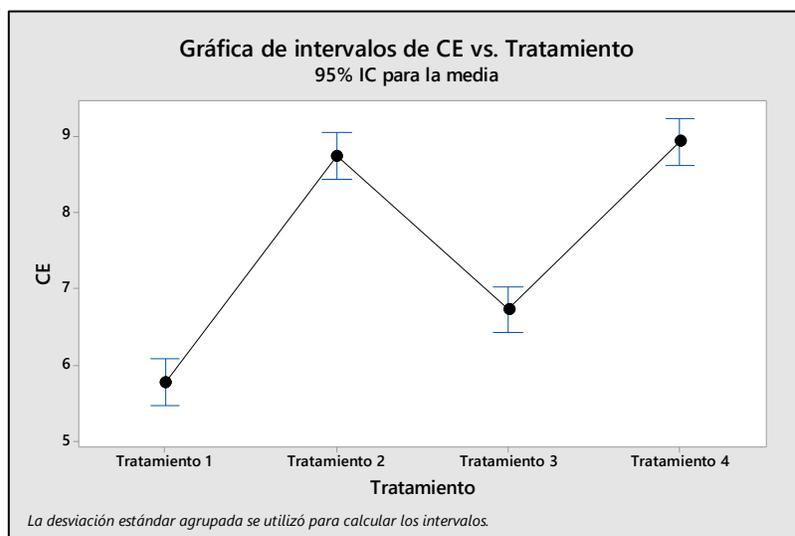
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.279981	96.80%	96.00%	94.32%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	5.7800	0.0891	(5.4750, 6.0850)
Tratamiento 2	4	8.740	0.457	(8.435, 9.045)
Tratamiento 3	4	6.732	0.308	(6.427, 7.038)
Tratamiento 4	4	8.9300	0.0408	(8.6250, 9.2350)

Desv.Est. agrupada = 0.279981

Gráfica de intervalos de CE vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: ST vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	124.67	41.558	32.71	0.000
Error	12	15.25	1.271		
Total	15	139.92			

Resumen del modelo

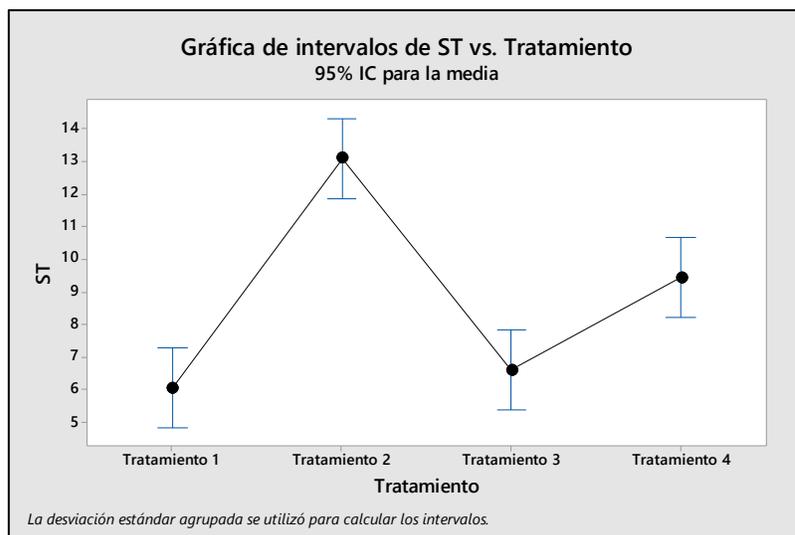
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.12719	89.10%	86.38%	80.63%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	6.068	0.371	(4.840, 7.296)
Tratamiento 2	4	13.099	1.677	(11.871, 14.327)
Tratamiento 3	4	6.608	0.434	(5.380, 7.835)
Tratamiento 4	4	9.443	1.394	(8.215, 10.671)

Desv.Est. agrupada = 1.12719

Gráfica de intervalos de ST vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: M.O en Solución vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	19.144	6.3815	32.42	0.000
Error	12	2.362	0.1968		
Total	15	21.507			

Resumen del modelo

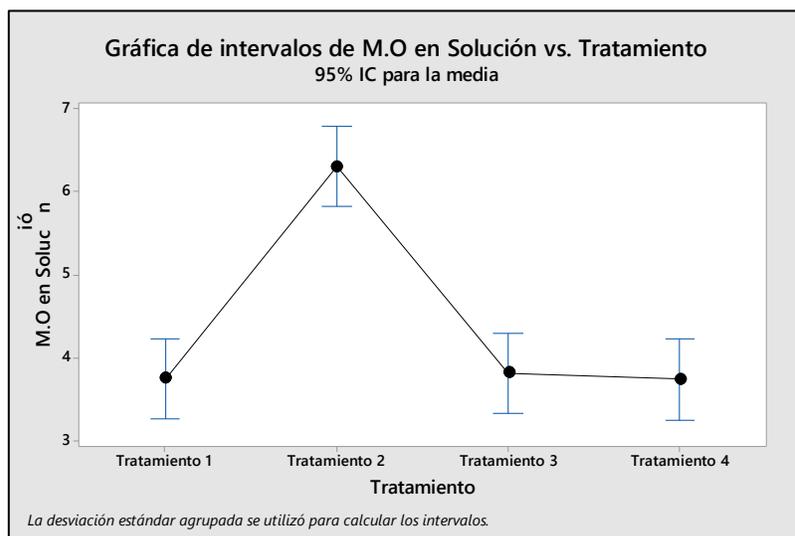
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.443669	89.02%	86.27%	80.47%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	3.750	0.287	(3.267, 4.233)
Tratamiento 2	4	6.296	0.484	(5.812, 6.779)
Tratamiento 3	4	3.819	0.253	(3.335, 4.302)
Tratamiento 4	4	3.743	0.638	(3.260, 4.226)

Desv.Est. agrupada = 0.443669

Gráfica de intervalos de M.O en Solución vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: N total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	62179	20726	10.96	0.001
Error	12	22702	1892		
Total	15	84882			

Resumen del modelo

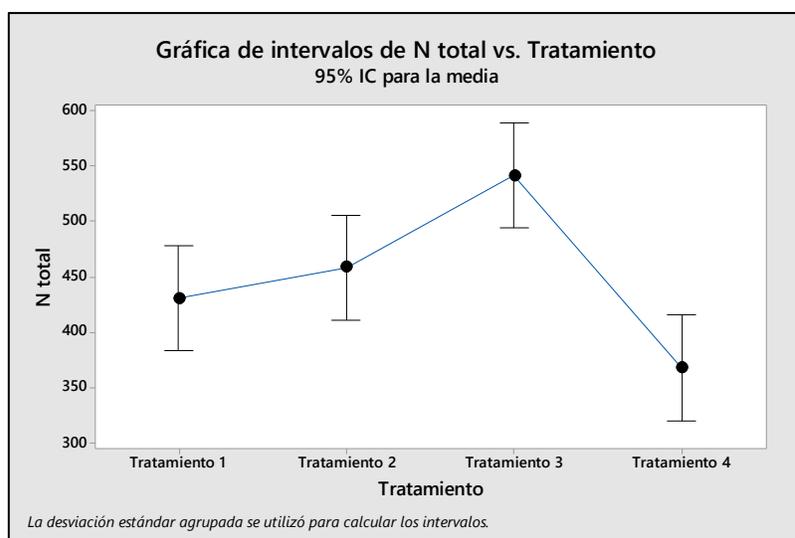
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
43.4955	73.25%	66.57%	52.45%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	430.50	4.47	(383.12, 477.88)
Tratamiento 2	4	458.5	67.6	(411.1, 505.9)
Tratamiento 3	4	541.3	54.0	(493.9, 588.7)
Tratamiento 4	4	367.83	8.06	(320.45, 415.22)

Desv.Est. agrupada = 43.4955

Gráfica de intervalos de N total vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: P total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	4207.2	1402.41	69.67	0.000
Error	12	241.5	20.13		
Total	15	4448.8			

Resumen del modelo

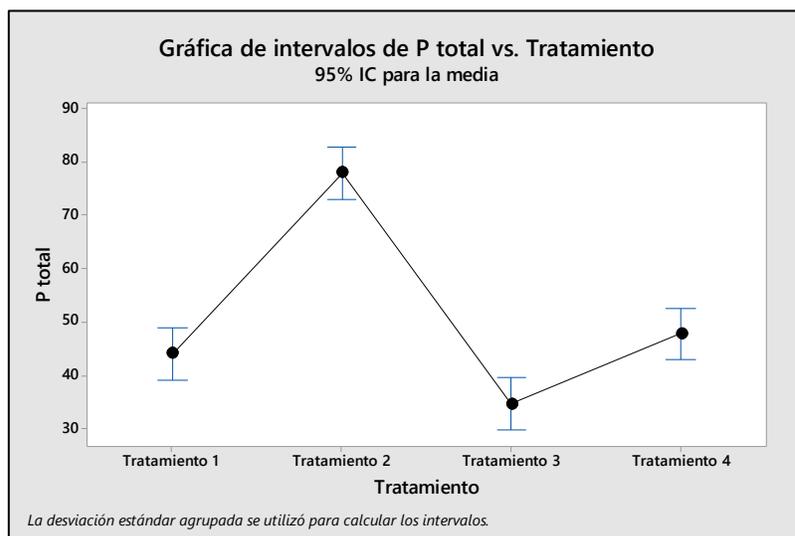
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.48643	94.57%	93.21%	90.35%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	44.19	4.07	(39.30, 49.08)
Tratamiento 2	4	78.02	5.67	(73.13, 82.91)
Tratamiento 3	4	34.70	4.62	(29.81, 39.59)
Tratamiento 4	4	47.86	3.25	(42.97, 52.75)

Desv.Est. agrupada = 4.48643

Gráfica de intervalos de P total vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: K total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	92075	30691.5	34.48	0.000
Error	12	10683	890.2		
Total	15	102757			

Resumen del modelo

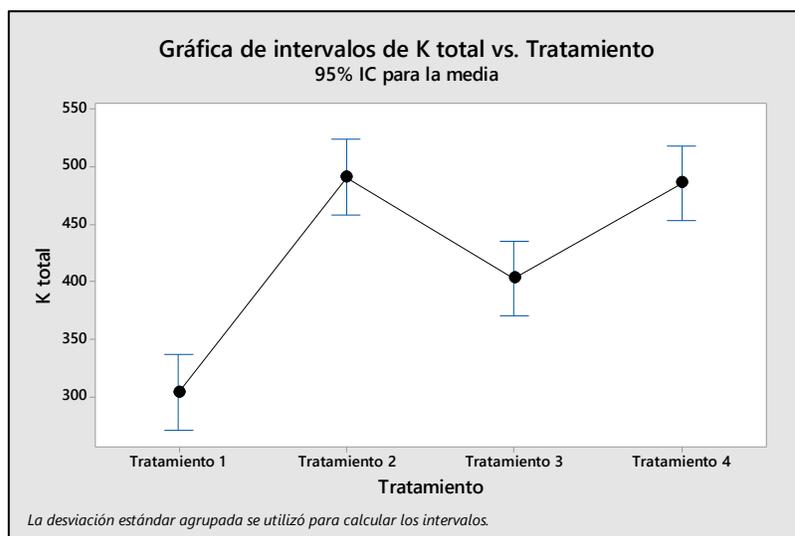
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
29.8365	89.60%	87.01%	81.52%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	303.9	50.8	(271.4, 336.4)
Tratamiento 2	4	490.44	5.58	(457.93, 522.94)
Tratamiento 3	4	402.7	25.5	(370.2, 435.2)
Tratamiento 4	4	485.38	17.20	(452.87, 517.88)

Desv.Est. agrupada = 29.8365

Gráfica de intervalos de K total vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: Ca total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2924530	974843	70.90	0.000
Error	12	164987	13749		
Total	15	3089517			

Resumen del modelo

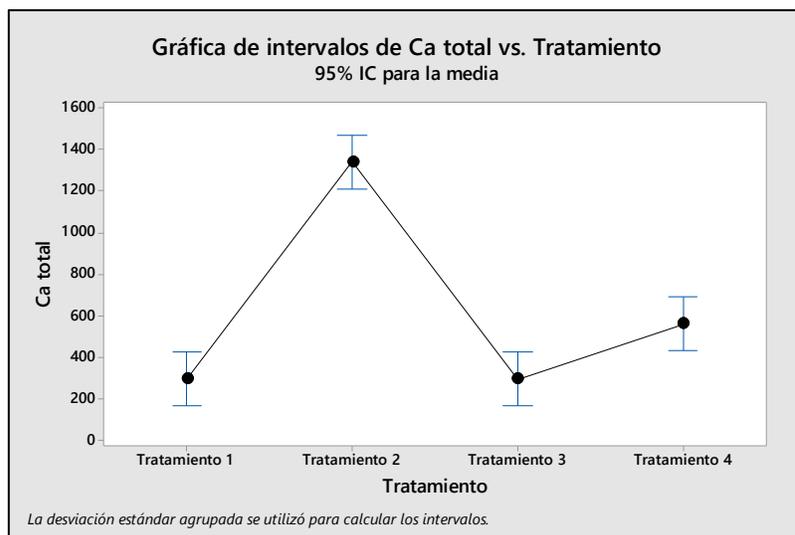
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
117.256	94.66%	93.32%	90.51%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	298.8	29.5	(171.0, 426.5)
Tratamiento 2	4	1342	229	(1214, 1470)
Tratamiento 3	4	297.9	30.4	(170.1, 425.6)
Tratamiento 4	4	563.6	28.1	(435.9, 691.4)

Desv.Est. agrupada = 117.256

Gráfica de intervalos de Ca total vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: Mg total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust.	MC Ajust.		
Tratamiento	3	1129	376.2	1.88	0.186
Error	12	2396	199.7		
Total	15	3525			

Resumen del modelo

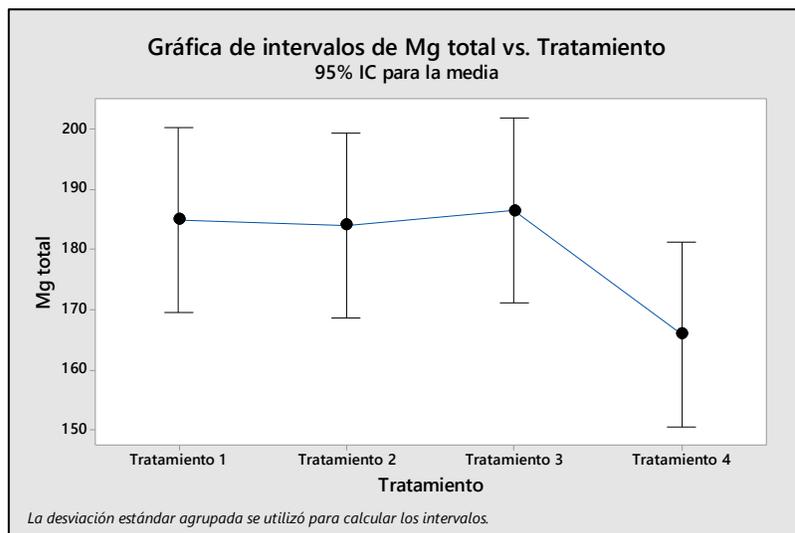
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
14.1312	32.02%	15.03%	0.00%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	185.00	11.27	(169.61, 200.39)
Tratamiento 2	4	184.13	14.41	(168.73, 199.52)
Tratamiento 3	4	186.56	2.55	(171.17, 201.96)
Tratamiento 4	4	165.9	21.4	(150.5, 181.3)

Desv.Est. agrupada = 14.1312

Gráfica de intervalos de Mg total vs. Tratamiento



ANOVA de un solo factor: Na total vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	4	Tratamiento 1, Tratamiento 2, Tratamiento 3, Tratamiento 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2045457	681819	135.44	0.000
Error	12	60411	5034		
Total	15	2105868			

Resumen del modelo

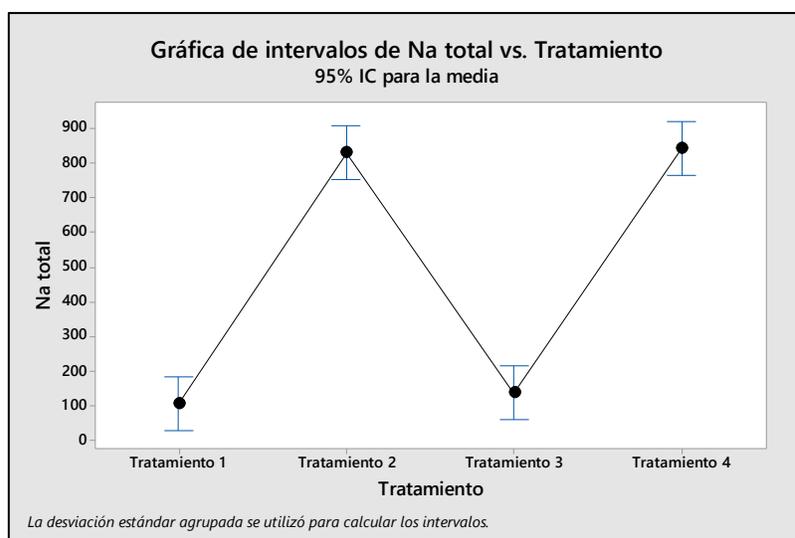
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
70.9524	97.13%	96.41%	94.90%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Tratamiento 1	4	106.88	7.47	(29.58, 184.17)
Tratamiento 2	4	831.3	131.3	(754.0, 908.5)
Tratamiento 3	4	138.75	13.62	(61.45, 216.05)
Tratamiento 4	4	843.8	51.5	(766.5, 921.0)

Desv.Est. agrupada = 70.9524

Gráfica de intervalos de Na total vs. Tratamiento



Anexo 19: Análisis de los componentes del biogás del biodigestor tubular.

FASE	Día	Fecha	Parámetros				
			CH4 %vol	CO2 %vol	O2 %vol	H2S ppm	C0 ppm
I	1	06/03/2018	57.4	33	4.1	92	9
	3	08/03/2018	53.8	34	3.7	89	8
	5	10/03/2018	55.3	32	4.3	100	10
	7	12/03/2018	55.1	36	2.7	87	7
	9	14/03/2018	54.1	35	4.1	92	6
	11	16/03/2018	58.3	33	4.3	90	6
	13	18/03/2018	54.9	35	2.7	88	7
	15	20/03/2018	56.8	37	3.7	97	8
	17	22/03/2018	55.1	34	3.0	90	9
	19	24/03/2018	57.5	34	3.1	94	9
	21	26/03/2018	56.0	32	4.3	99	10
	23	28/03/2018	53.8	34	2.7	88	7
	25	30/03/2018	54.6	33	2.9	101	6
	27	01/04/2018	55.3	36	4.3	88	8
	29	03/04/2018	55.1	35	2.7	97	7
	PROMEDIO		55.54	34.2	3.5	92.8	7.8
II	31	06/04/2018	56.7	34	2.9	86	9
	33	08/04/2018	55.8	32	3.1	91	8
	35	10/04/2018	57.6	36	3.5	85	9
	37	12/04/2018	62.1	34	2.7	81	14
	39	14/04/2018	64.1	32	3.5	65	9
	41	16/04/2018	57.2	38	2.2	67	11
	43	18/04/2018	59.4	37	2.8	60	13
	45	20/04/2018	60.2	37	2.7	41	6
	47	22/04/2018	63.1	35	1.5	42	7
	49	24/04/2018	65.2	31	2.7	34	11
	51	26/04/2018	64.6	32	2.2	37	7
	53	28/04/2018	64.7	32	1.7	18	7
	55	30/04/2018	65.1	32	2.3	17	9
57	02/05/2018	63.9	33	2.5	11	11	
59	04/05/2018	66.7	31	3.1	7	8	

“Continuación”

II	61	06/05/2018	65.7	32	2.8	3	9
	63	08/05/2018	66.1	28	1.5	4	8
	65	10/05/2018	66.5	29	2.3	3	9
	67	12/05/2018	67.3	27	1.9	3	10
	69	14/05/2018	67.2	27	1.7	3	10
	71	16/05/2018	65.1	29	3.1	2	8
	73	18/05/2018	68.3	27	2.5	3	8
	75	20/05/2018	66	26	1.7	1	9
	77	22/05/2018	66.7	27	3.9	2	6
	79	24/05/2018	68.1	25	2.5	1	8
	81	26/05/2018	68.5	24	1.9	0	7
	83	28/05/2018	65.1	25	2.4	2	7
	85	30/05/2018	66.6	21	3.1	2	8
	87	01/05/2018	65.5	25	2.8	0	9
	89	03/06/2018	67.6	24	1.9	3	7
Promedio		64.2	30.1	2.5	25.8	8.7	

Anexo 20: Análisis del coeficiente de variabilidad de los componentes del biogás.

Estadísticos descriptivos: **Fase 1** -CH4 % vol, CO2 % vol, O2 % vol, H2S ppm, C0 ppm
Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	CoefVar
CH4 % vol	55.540	1.385	2.49
CO2 % vol	34.200	1.474	4.31
O2 % vol	3.567	0.624	17.50
H2S ppm	8.467	1.246	14.72
C0 ppm	7.533	1.060	14.07

Estadísticos descriptivos: **Fase 2** -CH4 % vol, CO2 % vol, O2 % vol, H2S ppm, C0 ppm
Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	CoefVar
CH4 % vol	61.760	3.618	5.86
CO2 % vol	33.733	2.344	6.95
O2 % vol	2.492	0.496	19.89
H2S ppm	4.700	0.823	17.52
C0 ppm	9.444	1.236	13.09

Estadísticos descriptivos: **Fase 2** -CH4 % vol, CO2 % vol, O2 % vol, H2S ppm, C0 ppm
Estadísticas

Variable	Media	Desv.Est.	CoefVar
CH4 % vol_1	66.687	1.122	1.68
CO2 % vol_1	26.400	2.613	9.90
O2 % vol_1	2.030	0.365	18.00
H2S ppm_1	2.600	0.516	19.86
C0 ppm_1	8.200	1.146	13.98

Anexo 21: Análisis de nutrientes del biol de la fase 1.



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : DIEGO CÓNDROR LÓPEZ
 PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRÍ/ MATUCANA
 MUESTRA DE : BIOL
 REFERENCIA : H.R. 62445
 FECHA : 19/02/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
105		6.47	5.98	9.49	12.11	350.00	40.24	325.17

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
105		275.00	185.50	118.33

Nº LAB	CLAVES	Fe total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
105		11.57	0.33	4.83	1.30	2.35

Sady García Bendezú
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Teléf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 3495622
 e-mail: labsuelolamolina.edu.pe

Anexo 22: Análisis de nutrientes del biol de la fase 2.



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : DIEGO CÓNDROR LÓPEZ
 PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRÍ/ MATUCANA
 MUESTRA DE : BIOL -IG
 REFERENCIA : H.R. 62445
 FECHA : 12/06/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
105		7.05	5.10	28.35	17.07	1309.00	97.87	328.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
105		527.50	176.25	122.50

Nº LAB	CLAVES	Fe total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
105		26.10	0.35	2.18	3.73	2.36

Dra. Sady García Bendejú
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telef.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 3495622
 e-mail: labsuelolamolina.edu.pe

Anexo 23: Parámetros microbiológicos del biol - fase 1 antes de la fermentación.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
INFORME DE ENSAYO N° 1803097 - LMT		
SOLICITANTE : DIEGO ANTONY CONDOR LÓPEZ		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO		
MUESTRA		
1803097) (BIOL DE VACA)		
PROCEDENCIA	:	Matucana
TIPO DE ENVASE	:	Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01 muestra x 01 und. x 500 ml. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	:	En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	:	2018 - 03 - 19
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2018 - 03 - 20
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	:	2018 - 03 - 20
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	2018 - 03 - 26
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico		Muestra 1803097
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)		70 x 10 ⁴
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)		40 x 10 ⁴
<p>Note: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p> <p>Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1968) Reimp. 2000. Editorial Acriba.</p> <p>Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.</p> <p style="text-align: right;">La Molina, 02 de Abril de 2018</p> <p>DRA. DÓRIS ZÚÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: imt@lamolina.edu.pe</p> <hr/> <p style="text-align: center;">LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO" (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU</p>		

Anexo 24: Parámetros microbiológicos del biol - Fase 2 antes de la fermentación.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274							
INFORME DE ENSAYO N° 1801017 - LMT								
SOLICITANTE	: DIEGO ANTONY CONDOR LÓPEZ							
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO								
MUESTRA	: 1 MEZCLA (1801017)							
PROCEDENCIA	: MATUCANA							
TIPO DE ENVASE	: Botella de plástico							
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 200 ml. aprox.							
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado							
FECHA DE MUESTREO	: 2018 - 01 - 09							
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2018 - 01 - 09							
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2018 - 01 - 09							
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2018 - 01 - 16							
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO								
<table border="1"><thead><tr><th>Análisis Microbiológico</th><th>Muestra 1801017</th></tr></thead><tbody><tr><td>¹Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)</td><td>15 x 10</td></tr><tr><td>¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)</td><td>15 x 10</td></tr></tbody></table>			Análisis Microbiológico	Muestra 1801017	¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)	15 x 10	¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	15 x 10
Análisis Microbiológico	Muestra 1801017							
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)	15 x 10							
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)	15 x 10							
<p>Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p>								
<p>Método: ¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.</p>								
<p>Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.</p>								
<p>La Molina, 19 de Enero de 2018</p>								
<p>DRA. DÓRS ZÚÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe</p>								
<hr/> <p>LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO" - (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU</p>								

Anexo 25: Parámetros microbiológicos del biol - fase 2 después de la fermentación.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
INFORME DE ENSAYO N° 1805222 - LMT		
SOLICITANTE : LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO		
MUESTRA : BIOL DE ESTIÉRCOL DE VACA		
1805222) 1° GENERACIÓN		
PROCEDENCIA	:	Matucana
TIPO DE ENVASE	:	Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA	:	01 muestra x 01 und. x 1000 ml. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	:	En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	:	2018 - 05 - 29
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2018 - 05 - 29
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	:	2018 - 05 - 31
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	:	2018 - 06 - 06
RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico		Muestra 1805222
1Enumeración de coliformes totales (NMP/ml.)		90 x 10 ²
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/ml.)		90 x 10 ²
<p>Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo</p> <p>Método: 1 International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.</p> <p>Observaciones: Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestra proporcionada por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.</p> <p style="text-align: right;">La Molina, 08 de Junio de 2018</p> <p>DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614 7800 anexo 274 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe</p> <hr/> <p style="text-align: center;">LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO" - (511) 6147800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU</p>		