

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en
Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental



“PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGAS Y BIOL EN UN BIODIGESTOR USANDO ESTIERCOL DE CODORNIZ DE LA GRANJA V.A. VELEBIT S.AC. UBICADA EN EL DISTRITO DE LURIGANCHO-CHOSICA”

Trabajo de Titulación para Optar el Título de:

Ingeniero Ambiental

Lina Paucar Malpica

Biólogo

Maricela Elizabeth Quispe Astucuri

Lima – Perú
2015

A Dios por permitirme culminar el presente trabajo,
A mi abuelita Fidela que desde el cielo guía mis pasos,
A mis padres por inculcarme valores, sobre todo la perseverancia,
A Percy mi compañero por su apoyo y aliento constante,

Lina

A mis padres, por su apoyo
incondicional, sus consejos y paciencia
todo lo que he logrado es gracias a ellos,
pues son los pilares de mi vida.

Maricela

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Lawrence Quipezco por ser la guía que tuvimos para la realización del presente trabajo.

Al profesor Juan Juscamaita quien nos brindó su tiempo y experiencia para mejorar el trabajo.

Al profesor Fermin Arévalo quien nos brindó su tiempo y dio consejos y correcciones al trabajo.

Al profesor Roberto Ramos por ayudarnos a mejorar el trabajo.

A Edgar Giraldo, responsable del Laboratorio de Ingeniería Ambiental, por prestarnos los equipos siempre que los necesitábamos

A la profesora Rosmery Vela por ayudarnos durante las pruebas en el laboratorio.

A los Srs. Delfín Huarcaya y Mario Jaulis, de la sala de tesis de la BAN por su don de servicio y paciencia.

A nuestros amigos y familiares que nos brindaron su tiempo, apoyo y esfuerzo durante todo el desarrollo del presente trabajo.

I. INDICE GENERAL

I.	INDICE GENERAL	
II.	RESUMEN	
III.	INTRODUCCIÓN	1
IV.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
4.1	CORNICULTURA EN EL PERÚ	4
4.1.1	CONTEXTO	4
4.1.2	CODORNIZ	4
4.1.3	GRANJA VELEBIT SAC	5
4.1.4	GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA CORNICULTURA	8
4.1.5	CARACTERÍSTICAS DE LA CODORNAZA	10
4.1.6	PROBLEMAS AMBIENTALES	10
4.1.7	MARCO LEGAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE GRANJAS	12
4.2	ANTECEDENTES DEL TRATAMIENTO MEDIANTE FERMENTACIÓN ANAEROBIA	13
4.3	DIGESTIÓN O FERMENTACIÓN ANAEROBIA	18
4.3.1	BIOQUÍMICA DE LA FERMENTACION ANAERÓBICA	18
4.4	BIODIGESTOR	33
4.4.1	TIPOS DE BIODIGESTORES	34
4.5	MATERIAL DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN	35
4.5.1	MATERIAL RICO EN NITRÓGENO	35
4.5.2	MATERIAL RICO EN CARBONO	36
4.5.3	PRE COMPOST	37
4.6	PRODUCTO DE BIODIGESTORES	40
4.6.1	BIOGÁS	40
4.6.2	BIOSOL	41
4.6.3	BIOL	41
V.	MATERIALES, MÉTODOS Y CÁLCULOS	47
5.1	MATERIALES	47
5.2	MÉTODOLOGÍA Y CÁLCULOS	48
5.2.1	UBICACIÓN	48
5.2.2	DURACIÓN	48
5.2.3	CONSTRUCCIÓN DE LOS PROTOTIPOS DE LOS BIODIGESTORES	48
5.2.4	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL	50

5.2.5 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA.....	57
5.2.5.1 Cálculos Previos.....	59
5.2.5.2 Procedimiento.....	60
5.2.6 CARGADO DE BIODIGESTORES.....	63
5.2.7 TIEMPO DE RETENCIÓN.....	67
5.2.8 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL.....	67
5.2.9 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS PRODUCIDO.....	68
5.2.10 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOL PRODUCIDO.....	69
5.2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	71
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
6.1 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL.....	72
6.1.1 COMPORTAMIENTO DEL pH.....	72
6.1.2 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA.....	75
6.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS PRODUCIDO.....	79
6.2.1 COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS.....	79
6.2.2 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	90
6.3 PRUEBA DE ACTIVIDAD METANOGENICA.....	94
6.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOL PRODUCIDO.....	94
VII. CONCLUSIONES.....	100
VIII. RECOMENDACIONES.....	103
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: FÓRMULA DE ALIMENTO - CODORNICES DE LEVANTE	7
CUADRO 2: FORMULA DE ALIMENTO – CODORNICES DE POSTURA.....	7
CUADRO 3: COMPARACIÓN DE CODORNAZA Y GALLINAZA.....	10
CUADRO 4: PRINCIPALES REACCIONES ACETOGÉNICAS	23
CUADRO 5: PRINCIPALES REACCIONES METANOGÉNICAS.....	25
CUADRO 6: RELACIÓN C/N DE DISTINTOS SUSTRATOS.....	27
CUADRO 7: TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN	29
CUADRO 8: RANGO DE TEMPERATURAS DE ACUERDO AL TIPO DE BACTERIA	30
CUADRO 9: INHIBIDORES DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA	32
CUADRO 10: CARACTERÍSTICAS DEL ESTIÉRCOL DE ALGUNOS ANIMALES	36
CUADRO 11: CONTENIDO DE LA CHALA DE MAÍZ	37
CUADRO 12: COMPOSICIÓN DE BIOGÁS DERIVADO DE DIVERSAS FUENTES.....	40
CUADRO 13: COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DEL BIOL	43
CUADRO 14: SIGNOS DE LA CARENCIA Y EXCESO DE NITRÓGENO EN LAS PLANTAS	45
CUADRO 15: CONTENIDO PORCENTUAL DE HUMEDAD, CARBONO Y NITRÓGENO.....	51
CUADRO 16: CANTIDAD USADA DE ESTIÉRCOL Y CHALA DE MAÍZ PARA EL PRE COMPOST CONSIDERANDO PESO SECO	53
CUADRO 17: CANTIDAD USADA DE ESTIÉRCOL Y CHALA DE MAÍZ PARA EL PRE COMPOST CONSIDERANDO LA HUMEDAD DE CADA MATERIAL	55
CUADRO 18: RESULTADOS DEL ENSAYO DE LABORATORIO.....	59
CUADRO 19:.....	61
CUADRO 20: SUSTRATOS EMPLEADOS POR TRATAMIENTO	66
CUADRO 21: COMPORTAMIENTO DEL PH.....	73
CUADRO 22: TEMPERTURA PROMEDIO INTERIOR DE LOS BIODIGESTORES (°C).....	77
CUADRO 23: COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS – PORCENTAJE DE METANO (CH ₄)	81
CUADRO 24: COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS – PORCENTAJE DE OXÍGENO (O ₂).....	83
CUADRO 25: COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS – PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	86
CUADRO 26: COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS – PORCENTAJE DE OTROS GASES	88
CUADRO 27: VOLUMEN DE BIOGÁS GENERADO (LITROS).....	91
CUADRO 28: PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	93
CUADRO 29: COMPOSICIÓN DEL BIOL EN LOS TRATAMIENTOS (MG/L)	95
CUADRO 30: COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOL GENERADO	97
CUADRO 31: PRESENCIA DE COLIFORMES AL INICIO Y FINAL DEL ESTUDIO	99

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA Y ETAPAS.....	19
FIGURA 2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE EL TIEMPO DE RETENCIÓN.....	28
FIGURA 3. FASES DEL COMPOSTAJE.....	38
FIGURA 4. ESQUEMA DEL PROTOTIPO DEL BIODIGESTOR ELABORADO.....	49
FIGURA 5. VOLUMEN VS TIEMPO.....	62
FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DEL PH.....	75
FIGURA 7. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA.....	79
FIGURA 8. COMPORTAMIENTO DE GENERACIÓN DE METANO.....	82
FIGURA 9. COMPORTAMIENTO DE GENERACIÓN DE OXÍGENO.....	84
FIGURA 10. COMPORTAMIENTO DE GENERACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	87
FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DE GENERACIÓN DE OTROS GASES.....	89
FIGURA 12. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	92
FIGURA 13. VOLUMEN ACUMULADO DE BIOGÁS.....	93

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA.....	112
ANEXO 2. INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR.....	113
ANEXO 3. INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS BIOLES.....	114
ANEXO 4. MEMORIA FOTOGRÁFICA.....	115
ANEXO 5. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CUANTIFICAR LA PRESENCIA DE ORGANISMOS PATOGENOS.....	125
ANEXO 6. MANUAL DEL POTENCIÓMETRO.....	128
ANEXO 7. CUADROS DE ANVA.....	129

II. RESUMEN

Este trabajo se basa en la elaboración de un biodigestor anaerobio de 80 litros de capacidad, y la puesta en funcionamiento por 13 semanas con una proporción de 1/5 de agua y sólidos totales respectivamente, teniendo como sustratos la codornaza en etapa de postura y levante y la chala de maíz. Fueron dos tratamientos que iniciaron con una relación C/N = 30/1, se evaluaron en el proceso la temperatura interior del reactor y el pH, así como el volumen de producción y calidad del biogás, y al final del proceso se evaluó la concentración de macronutrientes y coliformes fecales presentes en el biol. Los resultados fueron los siguientes: el pH tuvo valores óptimos entre 6 a 8, la temperatura interior del proceso fue mayormente psicrófila (entre 18 a 25°C) y algunos resultados estuvieron en el rango mesófilo (25 - 27.2°C), estos rangos de temperatura no son óptimos para la producción de biogás (30 - 35°C). Los valores máximos de porcentaje de metano en el biogás encontrados fueron 44.6% y 40%, lo que indica que estos no llegaron a tener buena calidad (>50%) probablemente por el comportamiento de la temperatura, puede deberse también por la presencia de oxígeno, la baja actividad metanogénica del inóculo ó por el porcentaje de sólidos totales, el tratamiento con codornaza de postura (100.83 litros de volumen acumulado) generó más volumen de biogás que el tratamiento de codornaza de levante (99.25 litros de volumen acumulado) aunque no fue significativo, el biol producido presenta macronutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio) siendo el tratamiento de codornaza de levante el que presenta mayor concentración de estos elementos, los organismos patógenos fueron removidos, aunque en el caso del tratamiento de codornaza de postura no cumple con los estándares de calidad de agua de riego según el MINAM y de fertilizante según la EPA. En ambos tratamientos, el biol generado puede ser usado como abono orgánico con previa desinfección del biol del tratamiento de codornaza de postura. Al finalizar la investigación se concluye que el biogás en ambos tratamientos tiene similar comportamiento mientras que en el caso del biol, el tratamiento a partir de codornaza de postura presenta mejores características que del tratamiento de codornaza de levante.

Key words: *biodigestor, codornaza, biol, biogás*

III. INTRODUCCIÓN

En el Perú se vive un creciente desarrollo en la crianza de codornices para la obtención de huevos debido a que es una fuente de proteínas, vitaminas, minerales y omega 3, además tiene bajos niveles de colesterol que el ser humano necesita en su alimentación y posee un sabor que es muy parecido al huevo de la gallina, su comercialización se realiza en calles, mercados y supermercados.

La generación de residuos de las granjas de codornices existentes en zonas cercanas al área urbana produce residuos como son los estiércoles, los cuales en la mayoría de los casos son manejados de manera inadecuada.

Estos residuos poseen altos contenidos de nutrientes y material orgánico por lo cual tienen alta demanda como abono para la agricultura sin embargo genera contaminación del suelo por las cantidades de sales que contiene el estiércol; por emisiones de amoníaco al aire y al agua subterránea por la lixiviación de nitratos. Además emiten olores desagradables que propician la proliferación de vectores y microorganismos patógenos. Estas implicancias sobre el ambiente exigen tener un manejo adecuado de estos residuos.

Cada 1000 codornices generan 8 kg de codornaza o estiércol seco de codorniz por día, (Vásquez y Ballesteros, 2007) es por eso que estas granjas de acuerdo a la cantidad de aves con que cuentan, generan una gran cantidad de estiércol que debe ser manejado adecuadamente debido a la alta carga de organismos patógenos.

El Decreto Supremo N° 016-2012-AG Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario establece que las deyecciones de aves de corral junto con el material usado en la cama, en los casos que correspondan, pueden ser incorporados al suelo previo tratamiento para estabilizarla.

Tal es el caso de la granja Velebit SAC, en la cual el estiércol es generalmente puesto en venta a los agricultores de la zona sin ningún tratamiento, quienes lo aplican directamente sobre el suelo como abono, hecho que genera contaminación del suelo y las plantas por

organismos patógenos, que puede dar lugar a enfermedades a las personas que lo manipulan, los consumidores de los alimentos y las plantas abonadas.

Una alternativa para el tratamiento de la codornaza producida es mediante la biodigestión anaerobia, proceso que ocurre en los biodigestores, estos sistemas utilizan tecnología en donde la materia prima es el estiércol. Una de las principales características de la biodigestión es su capacidad para reducir la carga microbiana y parasitaria de la excreta hasta en un 99%, incluyendo huevos y larvas. (Martínez, 1979)

La biodigestión es un proceso biológico complejo, constituye un reciclaje de elementos de materia orgánica, el cual es desarrollado por microorganismos anaerobios, quienes transforman la materia orgánica en biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía (Flotats et al, 1997); y un efluente llamado biol que se puede usar como abono orgánico y por la materia sólida llamado biosol.

Los productos obtenidos de la digestión anaerobia que se comercializan son el biogás y el biol. En el caso de las granjas de codornices, uno de los requerimientos es el biogás, que se puede utilizar como fuente de energía para las lámparas usadas en el acondicionamiento del microclima adecuado en los galpones de la granja en donde se encuentran las codornices que han salido del huevo hasta que alcancen la etapa de postura, este tiempo dura en promedio 30 días, asimismo el biol le puede generar un mayor ingreso económico por sus ventas.

El objetivo general fue producir y evaluar la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando codornaza de la granja V.A. Velebit SAC ubicada en el distrito de Lurigancho – Chosica y como objetivos específicos:

- Construir un biodigestor que cumpla características de hermeticidad y tenga incorporado dispositivos para la medición de los parámetros cinéticos y para realizar la agitación.
- Producir biogás y biol en un biodigestor a partir del codornaza en etapa de postura y en etapa de levante.
- Determinar los parámetros cinéticos: pH y temperatura de producción de biogás y biol en un biodigestor a partir del codornaza.
- Evaluar la calidad del biogás comparando la codornaza en la etapa de postura con la codornaza en la etapa de levante.

- Evaluar la calidad del biol producido comparando la codornaza en etapa de postura con la codornaza en etapa de levante.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 CORNICULTURA EN EL PERÚ

4.1.1 CONTEXTO

Las codornices fueron introducidas al Perú principalmente por inmigrantes asiáticos, quienes las criaron en forma doméstica en traspatio. A través de los descendientes asiáticos se difundió el consumo de huevos de codorniz mediante la gastronomía (pues muchos platos de origen oriental incluyen el huevo de codorniz).

En la década del 80 influenciadas por la producción argentina se realizaron inversiones en este rubro, la cual por una mala política administrativa provocó su desaparición.

En la década de los 90 la Universidad Agraria La Molina comenzó los estudios de crianza de codornices y temas relacionados con la nutrición y manejo siendo la encargada la Unidad Experimental de Avicultura y el Programa de Alimentos.

En el año 1998, a través de los medios de comunicación se comenzó a difundir las bondades del huevo de codorniz y sus beneficios en su consumo, lo cual sumado a una publicidad sobredimensionada y distorsionada derivó en el llamado “Boom de las codornices”. (Huerta et al, 2008 citado por Trujillo, 2004).

Actualmente se realiza la comercialización de los huevos de codorniz en las calles, mercados y supermercados de las ciudades del Perú.

4.1.2 CODORNIZ

La codorniz japonesa (*Conturnix conturnix japonica*) es un ave de desarrollo y crecimiento sumamente rápido y muy precoz, fisiológicamente, las hembras están desarrolladas para producir huevos a partir de la quinta o sexta semana de edad (Alquati, 1975), los signos externos de desarrollo de la madurez sexual son, como en cualquier otra gallinácea,

dilatación, humedecimiento de la cloaca y separación de los púbicos entre 3 a 3.5 cm etc. (Stein y Bacon, 1976).

Dentro de las principales características zootécnicas figuran: la hembra adulta pesa de 100 a 120 g y el macho de 90 a 110 g; consumen de 17 a 20 g de alimento diario con 22% a 24% de proteína; cada 100 codornices ponen entre 80 y 100 huevos diarios, con un promedio de postura del 90%. El macho presenta la garganta de color canela intenso o marcada con algo de negro en la barbilla. El color canela oscuro llega hasta las mejillas y el abdomen; la hembra es de color crema claro durante toda su vida. Los machos jóvenes son muy similares a la hembra. (Vásquez y Ballesteros, 2007)

a. Ciclo de vida de los codornices

Es el período comprendido, entre el nacimiento de la codorniz y el final de su producción de huevos; consta de tres etapas (Vásquez y Ballesteros, 2007):

- Cría: de 0 a 3 semanas de edad.
- Levante: de 4 a 7 semanas de edad.
- Postura: de 8 a 60 semanas de edad.

4.1.3 GRANJA VELEBIT SAC

No tienen un sistema para incubar huevos, adquieren las codornices comprándolas a las incubadoras de un día de nacidas, solo compran hembras

2.1.3.1 Cantidad de codornices

El número de codornices es de 15 000, de los cuales:

- 7 500 son de levante, estos se dividen en grupos de 2 500 aproximadamente (es decir 3 camas de 2 500), las camas están con lámparas que usan gas para darles calor. Una cama es la agrupación de codornices de levante para criarlos durante 3 - 4 semanas aproximadamente, antes de que comiencen a dar huevos.
- 7 500 de postura, las cuales están en galpones dentro de jaulas produciendo huevos.

2.1.3.2 Forma de manejo de la codornaza

La codornaza primero es extendida hasta que se seque por unos días y luego recién lo venden.

De la codornaza que venden, algunos de sus compradores lo usan como alimento para vacas o para aplicar directamente al terreno agrícola para fertilizarlo.

Solo venden la codornaza de postura, las de levante no porque están mezcladas con coronta de choclo

2.1.3.3 Cantidad de codornaza generada

En cuanto a las codornices de levante,

Por cama (2 500 codornices) sacan aproximadamente 7 sacos de estiércol combinado con coronta, (es lo que se ha agregado a los biodigestores), esto se saca cada 2 – 3 semanas

Es decir, de 7 500 codornices de levante se sacan cada 3 – 4 semanas, 21 sacos de estiércol, es decir 1 050 kg de estiércol

En cuanto a las codornices de postura,

7 500 codornices de postura producen 4 sacos al día aproximadamente, cada saco pesa aproximadamente 50 kilogramos.

Es decir, de 7 500 codornices de postura se sacan diariamente 200 kg de estiércol.

Si lo comparamos,

Codornaza de levante: Cada 4 semanas sacan 1 050 kilos de estiércol

Codornaza de postura: Cada 4 semanas sacan 5 600 kilos de estiércol

2.1.3.4 Formula de alimento de las codornices en la granja Velebit SAC

La fórmula de alimento para codornices en etapa de levante se observa en el Cuadro 1, en esta etapa el consumo diario de alimento es de 16 gramos.

Cuadro 1: Fórmula de alimento - codornices de levante

Alimento balanceado	Cantidad (Kg)
Maíz	524.80
Torta de soya	440.00
Calcio I (polvo)	15.00
Metionina	2.00
Sal	2.00
Premezcla	2.00
Cloruro de colina	1.70
Aflaban	2.00
Zinc acitracina	1.00
Fungiker	1.50
Montaphos	8.00
Total	1000

Fuente: Granja Velebit S.A.C.

La fórmula de alimento para codornices en etapa de postura se observa en el Cuadro 2, en esta etapa el consumo diario de alimento es de 25 gramos.

Cuadro 2: Formula de alimento – codornices de postura

Alimento balanceado	Cantidad (Kg)
Maíz	570.00
Torta de soya	230.00
Carbonato de calcio	65.00
Fosfato tricalcico	10.00
Aceite de soya	15.00
Sal marina	3.00
Mogolla de trigo	99.00
Prem vit/min	2.00
Lisina	4.00
Metionina	2.00
Total	1000.00

Fuente: Granja Velebit S.A.C.

4.1.4 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA CORNICULTURA

2.1.4.1 Residuos Sólidos

Según la Ley General de Residuos Sólidos se denominan residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólidos de los que su generador dispone o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y al ambiente.

La EPA (Environmental Protection Agency), define el término “residuo sólido” como cualquier desperdicio o lodo que provenga de alguna planta de tratamiento de residuos, de alguna planta de tratamiento de agua potable, o de cualquier planta de control de contaminación del aire y cualquier otro material descartado, excluyendo a los sólidos o material disuelto en aguas residuales domésticas o sólidos o materiales disueltos en excedentes de irrigación o de descargas líquidas industriales.

Según Abad (2002) citado por Castillo (2012), el término residuo se aplica a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo, el cual no alcanza ningún valor económico en las condiciones particulares de tiempo y de lugar en que se ha producido, y que es preciso recoger y tratar por razones de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente, por motivaciones estéticas.

2.1.4.2 Residuos Orgánicos

El término residuo orgánico se refiere a los compuestos de materia orgánica que tiene un tiempo de descomposición bastante menor que los inertes (residuos prácticamente estables en el tiempo), entre ellos se tienen a los restos de cocina, maleza, poda de jardines, entre otros (Tchobanoglous, 1994 citado por Schlaefli, 2010)

Para el proceso de biodigestión los residuos que se usan para el cargado de biodigestores son de origen orgánico, la mayoría de ellos biodegradables (es decir que se descomponen en forma natural). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: Los restos de comidas, frutas y verduras, carne, huevos, residuos de cosechas, estiércoles. (Aguilar, 1999).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1999), una de las principales actividades de donde provienen comúnmente los residuos sólidos es la actividad agropecuaria.

Actividad Agropecuaria:

En esta actividad, se generan una gran variedad de residuos de origen vegetal y animal. Los residuos vegetales están integrados por restos de cosechas y cultivos (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas, frutas, etc., procedentes de diversas especies cultivadas). El contenido de humedad de este tipo de residuo es relativo dependiendo de varios factores, entre ellos: características de las especies cultivadas, ciclo del cultivo, tiempo de exposición a los factores climáticos, manejo, condiciones de la disposición, etc. Entre los residuos animales, se incluyen excrementos sólidos y semisólidos (estiércoles) y líquidos purines. Desechos de faena, cadáveres, sobrantes de suero y leche, etc.

Residuos Ganaderos

Según Esteban (2003) citado por Torres (2013) la composición de los residuos ganaderos es muy compleja, esto se debe a que están formados por material orgánicas en suspensión, así como por elementos y compuestos minerales acompañados de poblaciones microbianas.

De acuerdo con las definiciones aportadas por Thibaudeau (1997), citado por Torres (2013) el residuo producido en una explotación ganadera se puede agrupar en tres clases:

- **Estiércol.** Dentro del estiércol existen diferencias entre el sólidos y el semi-líquido o pastoso: el sólidos contiene una proporción menor del 85% de agua y está formado por una mezcla de excrementos de animales y de cama más o menos descompuesta, en la proporción de una parte de cama por dos de excrementos, por el contrario, el estiércol simi-líquido o pastoso contiene aproximadamente un 85% de agua, la cantidad de cama es más escasa que en los estiércoles sólidos y se le manipula en forma líquida.
- **Lisier:** Su contenido de agua es superior al 85% y la mezcla formada por excrementos del animal contiene poco o nada de cama y aguas de dilución.
- **Purín:** Constituido por la parte líquida que fluye de la pila de estiércol y que contiene la fracción líquida de los excrementos y la orina así como aguas de lavado escapes de bebederos y aguas de lluvia.

4.1.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CODORNAZA

Excretas sin mezclas que provienen de la cría y mantenimiento de codornices ponedoras de huevos. Se caracteriza por tener un elevado porcentaje de nitrógeno que puede ser aprovechado como abono orgánico. En deyecciones totalmente secas 1000 aves producen 8 Kg/día (Vásquez y Ballesteros, 2007).

No es despreciable su valor sobre todo si se trata de grandes contingentes avícolas dada la riqueza de nitrógeno. Los excrementos de codorniz se utilizan para la elaboración de abonos (Barbado, 2004).

En el cuadro 3 se puede observar el aporte de nitrógeno, fósforo y potasio de la codornaza comparado con la gallinaza como abonos orgánicos.

Cuadro 3: Comparación de codornaza y gallinaza

Características	% Nitrógeno total	% Fósforo	% Potasio soluble
Codornaza	2.97	8.47	6.0
Gallinaza	1.4	1.4	2.1

Fuente: Mendizábal, 2005

Según Arias (2008) en la investigación que realizó, el informe de laboratorio arrojó que la codornaza era muy alcalina con un pH 8.82.

4.1.6 PROBLEMAS AMBIENTALES

La exposición del estiércol de aves tiene impactos negativos en el suelo, aire, agua superficial y subterránea.

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno y fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009).

El estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas (Miner et al., 2000).

El estudio de Méndez *et al* (2009) sobre la estimación del potencial de contaminación de granjas avícolas en los estados de Yucatán, concluyeron que si los desechos sólidos (estiércol, aves muertas o huevos que no eclosionan) son depositados directamente al suelo, estos producen una alta contaminación orgánica en el suelo por su descomposición amoniacal acumulado a tal grado que en vez de ser un abono, mata cualquier forma de vida vegetal. Además, percolará a través del suelo cuando sea expuesto al agua y se filtrará a las capas de agua subterránea, donde el nitrógeno se oxidará y permanecerá en forma de nitratos. Otro efecto es la contaminación de mantos acuíferos debido a la presencia de sólidos suspendidos, coliformes y nitrógeno entre otros, sobre todo en suelo permeable.

Según Pacheco y Cabrera (1997), el exceso de nutrientes en el agua favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del O₂ disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos. Además el amonio es tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos. La contaminación del aire por la exposición de estiércol se produce por la emisión de gases durante su degradación microbiana contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nitroso N₂O.

Según Fuentes (2014) los principales efectos medioambientales que pueden originarse y deben tenerse en consideración en relación a la actividad agropecuaria son:

- Contaminación difusa de aguas subterráneas por nitratos, ligado a prácticas agrícolas incorrectas.
- Eutrofización de aguas superficiales
- Contribución al efecto invernadero producido por metano, óxido nitroso y dióxido de carbono.
- Problemas locales por olores y polvo
- Deterioro del paisaje
- Problemas a la salud

En resumen la actividad avícola genera grandes volúmenes de estiércol. Estos residuos ocasionan impactos negativos al medio ambiente por su alto contenido de nutrientes y materia orgánica, altas concentraciones de gases y malos olores (Estrada, 2005).

4.1.7 MARCO LEGAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE GRANJAS

En el ámbito internacional la legislación de la Comisión Europea del Medio Ambiente, la DIRECTIVA 2008/1/CE cuya finalidad es la prevención y control integral de la contaminación de diversas actividades entre ellas las instalaciones destinadas a la cría intensiva de aves de corral. En ella se establecen medidas destinadas a evitar o reducir las emisiones en el aire, el agua, y la tierra de las actividades antes mencionadas, incluidas las medidas relativas a los residuos, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente.

En Latinoamérica existen normas que reglamentan el manejo y control sobre todo de la gallinaza y pollinaza. En países como Venezuela con la Resolución 46 “Normas sobre el estiércol de gallina” del año 1988, Colombia con Resolución 189 “Sanitización de gallinaza o pollinaza” del 2005 y Costa Rica con su Decreto N° 29145-MAG-S-MINAE de 1996 manejan sus residuos avícolas basados en normativas legales y técnicas que aseguran su adecuada disposición.

En el Perú, el anexo 1: Condiciones mínimas de infraestructura de las granjas y plantas de incubación del Reglamento de Instalación y Funcionamiento de Granjas Avícolas y Plantas de incubación (MINAG, 1997), establece literalmente lo siguiente: “Eliminación de desechos: las granjas deberán contar con un crematorio o un pozo séptico, que permita la eliminación de aves muertas y de desechos; dichos pozos sépticos deberán estar dentro del perímetro de la granja, con un sistema de cubierta que lo aislé de la granja y que no cause daños a terceros. Los desechos de las plantas de incubación, deberán ser incinerados, incorporados a pozos sépticos o llevados a botaderos autorizados por la Municipalidad de la zona, deberán ser trasladados en envases cerrados (sellados) para evitar la contaminación del ambiente y a terceros.”

Además el Reglamento Técnico para los productos orgánicos, el D.S. N° 044-2006-AG en el artículo 23 (Manejo de excretas animales) establece que las excretas deben completar un proceso de fermentación o descomposición para prevenir los focos infecciosos además en el artículo 11 (Manejo de fertilidad del suelo) indica que se permite el uso de abonamiento del estiércol de animal si antes pasa por un tratamiento. Este reglamento favorece la gestión de los residuos de la actividad avícola a pesar que en el marco general no rescata del todo la importancia del aprovechamiento de estos residuos.

El reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, (Decreto Supremo N° 057-2004-PCM) establece que los residuos de la actividad avícola son categorizados como residuos no municipales por lo cual están obligados a contratar una empresa prestadora de servicios para su disposición, o ser responsables de su manejo adecuado.

El Decreto Supremo N° 016-2012-AG Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario establece en el Artículo 8 la gestión de los residuos de establecimientos avícolas, en el cual indica que las deyecciones de aves de corral (gallinazas) junto con el material usado en la cama, en los casos que correspondan, pueden ser incorporados al suelo previo tratamiento para estabilizarla, mejorando su calidad como abono, y si es posible, fijar el nitrógeno amoniacal. La mejor opción de tratamiento para la gallinaza es el compostaje. El manejo y almacenaje de la gallinaza debe realizarse bajo el concepto de buenas prácticas agrarias, con la finalidad de reciclar los nutrientes de las deyecciones y evitar la contaminación de las aguas. Asimismo la gallinaza puede utilizarse como materia prima para la producción de biogás y de biofertilizantes, basadas en un proceso de descomposición anaeróbica.

4.2 ANTECEDENTES DEL TRATAMIENTO MEDIANTE FERMENTACIÓN ANAEROBIA

Los antecedentes de los trabajos realizados en el tema de fermentación anaerobia en el Perú y en el mundo se presentan a continuación:

Ámbito Internacional

El grupo de trabajo Bioenergy, cuyos miembros son instituciones u organizaciones que se encuentran en: Austria, Brasil, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Irlanda, Corea, Noruega, Suecia, Suiza, Países Bajos, Reino Unido y la Comisión Europea, cuyo objetivo principal es hacer frente a los desafíos relacionados con la sostenibilidad económica y

ambiental de la producción de biogás y la utilización. Si bien hay muchas plantas de biogás en los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), la operación en la gran mayoría de los casos sólo se puede mantener con la ayuda de las subvenciones para poder competir con el sector industrial de la energía fósil, con la mejora de muchos de los pasos del proceso de la cadena de producción de biogás con el fin de reducir tanto la inversión y los costos de operación. Este grupo de trabajo realiza sus trabajos a nivel industrial, tiene varias publicaciones técnicas de la experiencia y trabajos de investigación que vienen desarrollando.

Unión Europea:

-La Unión Europea realiza la recuperación de metano en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, plantas en producciones pecuarias intensivas y plantas de generación de energía con cultivos energéticos.

-Producción de Biogás: 10.943 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep/año) en el 2010.

-De la producción de biogás el 52% se recupera energéticamente. La forma más común de recuperación es la energía eléctrica: en el 2010 se generaron 30,33 TWh de electricidad.

-El biogás producido es de: 53,4% de otras plantas de biogás, 37,2% de rellenos sanitarios y 9,4% de tratamiento de aguas residuales.

-Suecia, Alemania y Países Bajos implementaron otra forma de recuperación: inyección de Bio-metano en la red de gas natural.

En varios municipios de Suecia el transporte público utiliza biogás. Alemania tiene como meta para el 2020 cubrir el 6% de la demanda de gas natural con Biogás. Holanda se puso como meta la libre circulación de los automóviles que utilizan biogás por todo el país.

Alemania

-Líder en la producción de biogás. Produce el 53,41% de la energía eléctrica proveniente de Biogás en la Unión Europea, tiene una producción de 51.5 TEP (Toneladas equivalentes de petróleo)/1000 habitantes el doble que el segundo que es el Reino Unido.

-En el 2011 se registraron 7.470 plantas de biogás.

-Existen varias iniciativas de promoción y desarrollo: “Bioenergie Region Weserbergland Plus and Göttingerland”, Jühndey Beuchteprimer municipio abastecido con 100% de

Energía Renovable, Regional Research Centre (Bavaria) y Research Network Bioenergy (Bavaria).

-Programa de Educación de Biogás para más de 2000 granjeros en construcción y operación de plantas de biogás.

Reino Unido

-Es el segundo productor de Biogás. El 84% corresponde a recuperación de metano a partir de rellenos sanitarios.

-Grandes incentivos con el sistema de certificados verdes de Gran Bretaña (ROCs)

-En el 2010 se produjo en total 1.772,2 Ktep a partir de biogás

Italia

-Es el tercer país productor de biogás.

-Produjo durante el 2010 un total de 478,5 Ktep (kilotoneladas equivalentes de petróleo) a partir de Biogás.

-Hay en total 450 empresas de biogás.

-En total en el 2010 el sector tuvo una facturación de €900 millones.

-Genero 2 600 puestos de trabajo durante el 2010.

América Latina

-Los biodigestores del modelo Taiwán se implementó a mediados de la década del '90, y tuvo gran desarrollo en México, Costa Rica, Perú, Bolivia, Colombia y Nicaragua en la última década.

La RED BIOLAC - Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe se crea en el marco del Taller de Intercambio de Experiencias de Biodigestores en América Latina, desarrollado entre el 18 y 22 de mayo del 2009 en el Centro de demostración y capacitación de tecnologías apropiadas (CEDECAP) en Cajamarca Perú, donde integrantes de diferentes instituciones como ONG's, universidades, centros de investigación, empresas y miembros de la sociedad civil de países como Colombia, Ecuador, Bolivia, Nicaragua, México, Costa Rica, España, Estados Unidos y Perú formaron la red con la Misión de promover la investigación aplicada y difusión de la biodigestión anaeróbica como herramienta para mejorar el bienestar de la población de América Latina y el Caribe, y la visión de ser una organización que apoye de manera genuina la conservación ambiental y el bienestar socio

económico del medio rural, y la Red Nacional de biodigestores fue creada en el marco del Taller Macrorregional Norte “Biodigestores, experiencias en su aplicación e investigación en nuestro país”

Perú

-Los biodigestores de modelo Hindú y chino se implementaron en la década del '80 en el Perú, la mayoría de proyectos fracasaron.

-De todos los biodigestores instalados en el Perú hasta el momento las experiencias exitosas que se puede mencionar son las siguientes: Bioagricultura Casa Blanca, CARE Perú Proyecto Desarrollo Inclusivo. Ancash, Fundo América, La Calera, Fundo Las Tayas, Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM). San Martín, Proyecto Biosinergia, Soluciones Prácticas

-Soluciones Prácticas, Instituto de Alternativas Agrarias, el Centro de Formación Profesional, el Centro de Demostración y Capacitación de Tecnologías Apropriadas están trabajando fuertemente en investigación, desarrollo e implementación de biodigestores en todo el país.

-CIDELSA es una de las empresas más importantes en la provisión de Biodigestores para los diferentes proyectos.

Bolivia

-1990-1995: Proyecto Biogás con financiamiento de la Cooperación Alemana (GTZ), no se lograron obtener resultados en la instalación de biodigestores por los altos costos.

-2005-2010. PROAGRO: Programa de Desarrollo Agropecuario en conjunto con la GTZ llevan adelante una iniciativa de “Desarrollo Energético”. Se estima que 1.000 familias fueron beneficiarias de dicho programa. El éxito de la iniciativa radica en facilitar el conocimiento técnico y práctico a las familias del área rural, para que puedan construir y mantener los biodigestores en sus hogares.

-Desde el 2006, la ONG Tecnologías en Desarrollo lleva adelante el Programa “Viviendas Autoenergéticas” en el Altiplano con más de 100 biodigestores instalados en las comunidades de los municipios de Achacachi y Tiawanaku. El proyecto plantea el manejo adecuado de los residuos humanos y animales, por medio de acciones sostenibles y acordes

al equilibrio ecológico mejora la calidad de vida la población en la zona del proyecto. Permiten agregar valor agregado a los residuos, mediante la producción de biogás y la utilización del bioabonos, biodigestor de película tubular de polietileno de bajo costo de instalación.

Costa Rica

-Desde el año 1994 la Universidad EARTH trabaja en la investigación y desarrollo de la tecnología. Hasta el año 2010 había más de 2.000 unidades del tipo Taiwán instalados y operando en fincas, agroindustrias y en hoteles.

Nicaragua

-La empresa Asofenix está estudiando diferentes tipos de biodigestores en comunidades rurales, modelo de alta densidad polipropileno, modelo horizontal de ferrocemento y modelo que combina una base horizontal de ferrocemento para la durabilidad y una tapa de plástico para el mantenimiento fácil.

Colombia

-La empresa Arotecesta ha instalado 2 biodigestores en una cooperativa de vacas y cerdos, y está trabajando fuertemente en la difusión de la tecnología para buscar usuarios interesados.

Ecuador

-CARE Ecuador está incentivando a agricultores y ganaderos con la implementación de esta tecnología para el fácil aprovechamiento de todos sus subproductos. Está investigando a cerca del correcto funcionamiento de los biodigestores según la temperatura y geografía de cada lugar y mejora de materiales amigables al medio ambiente.

México

-Proyecto WISIONS en marcha.

4.3 DIGESTIÓN O FERMENTACIÓN ANAEROBIA

4.3.1 BIOQUÍMICA DE LA FERMENTACION ANAERÓBICA

4.3.1.1 Generalidades

La digestión anaerobia es la degradación biológica, mediante un consorcio complejo de microorganismos, de substratos orgánicos, y ocasionalmente inorgánicos, en ausencia de una fuente de oxígeno. Durante el proceso, la materia orgánica es convertida principalmente en metano, dióxido de carbono y biomasa. El nitrógeno no utilizado en el crecimiento es, generalmente, reducido y liberado como amonio y el fósforo permanece bajo forma de fosfato. Casi el 90 % de la energía contenida en la materia orgánica puede ser transformada en biogás (fuente potencial de energía eléctrica), mientras que, un 5-7 % es usado para el crecimiento celular y un 3-5 % se pierde como calor (McInemey et al, 1979).

Así mismo otra definición es la siguiente: La digestión anaerobia consiste en una fermentación anaeróbica que se efectúa dentro de un biodigestor, en el cual la materia orgánica se descompone sin el oxígeno atmosférico para dar como resultado agua, dióxido de carbono y metano (Hiler y Stout, 1985).

El proceso se lleva a cabo en un reactor cerrado en ausencia de oxígeno, donde la degradación de materiales orgánicos ocurre a través de 4 etapas consecutivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Martí, 2006).

La biometanización de manera natural se produce en biotopos muy diferentes: sedimentos lacustres y marinos, arrozales, micro-ambiente anóxico del suelo (vertederos sobre todo), el tracto digestivo del hombre y de los animales (rumiantes), y algunas especies de termitas (Moletta, 1993).

4.3.1.2 Bioquímica y microbiología del proceso

El proceso global de biodegradación anaerobia es el resultado de la acción de una población heterogénea de microorganismos -se estima que hay más de 150 especies- (INIA, 1997), en la que se encuentran anaerobios estrictos (que se inhiben en presencia de concentraciones de oxígeno superiores a 0,01 mg/l) y anaerobios facultativos, que son activos tanto en medios aerobios como anaerobios (Toerien y Hattingh, 1969). Cada uno de ellos lleva a cabo el

proceso bioquímico que le aporta el mayor rendimiento energético, compitiendo por los diferentes sustratos disponibles (Soubes, 1994).

En la Figura 1, se encuentra representado el esquema global de la digestión anaerobia que agrupa tanto las reacciones metabólicas como los cuatro principales grupos tróficos que las llevan a cabo. Dicho modelo fue propuesto por Zeikus en 1979, manteniendo su aceptación hasta hoy en día (Zeikus, 1981).

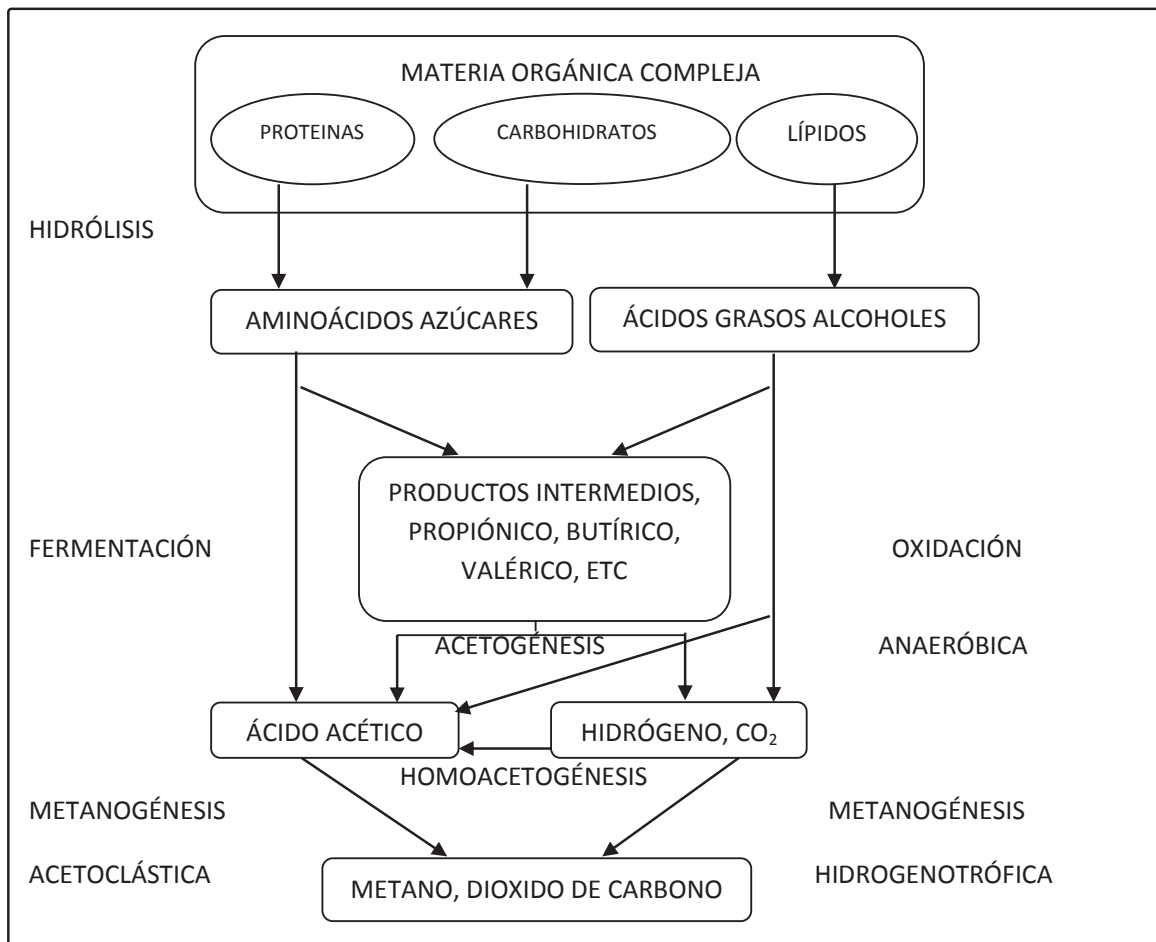


Figura 1. Esquema del proceso de digestión anaerobia y etapas

Fuente: Zeikus, 1981

Los compuestos en la biodegradación anaerobia pueden ser reagrupados en sustratos primarios (polímeros orgánicos). Luego son convertidos en una mezcla compleja de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico, láctico, etc.), anhídrido carbónico e

hidrógeno. Los intermediarios pueden reagruparse dentro de un amplio rango de compuestos gaseosos y solubles, mientras que los productos finales son, normalmente, metano y dióxido de carbono (INIA, 1997).

a. HIDRÓLISIS

Es la primera fase, donde se encuentran partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) que son hidrolizados por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos: aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga (Ortega, 2006).

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan de residuos con alto contenido en sólidos (Pavlosthatis et al., 1991 citado por Castillo, 2012).

Según Marti (2006) cualquier sustrato se descompone de tres tipos básicos de macromoléculas.

- Proteínas: son fuentes de carbono y energía por lo cual es un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaerobia pues sus productos tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas por enzimas proteasas en péptidos y aminoácidos, parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis del nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en las siguientes fases del proceso.
- Lípidos: Su degradación en condiciones anaerobias comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.,
- Materiales lignocelulósicos, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, su degradación es lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis pues la lignina es muy resistente a la degradación por parte de las bacterias anaerobias.

b. ACIDOGÉNESIS

La acidogenesis se define como un proceso anaeróbico microbiano con producción de ácido sin un donador o aceptor externo de electrones (Gujer y Zehnder, 1983 citado por Carhuacho, 2012). Las moléculas orgánicas solubles de la primera fase son degradadas a compuestos acéticos y liberando como productos hidrógeno y dióxido de carbono que son utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. (Martí, 2006).

Esta transformación representa la actividad de tres grupos de microorganismos: Las bacterias homoacetogénicas, sintróficas y las sulfato reductoras. (Ruiz, 2002).

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Ortega, 2006). El pH se encuentra en la zona ácida 5.1 a 6.8 (Guevara, 1996).

En esta fase se dan los siguientes procesos:

- Fermentación de carbohidratos solubles, la principal ruta metabólica para degradar ácidos orgánicos a glucosa es Embden – Meyerhof, esta fermentación se realiza por diferentes microorganismos. Los *Clostridium* son los principales microorganismos que convierten la glucosa en butírico, acético, CO₂ y H₂.
- Fermentación de aminoácidos, los principales productos son los ácidos grasos de cadena corta, succínico, aminovalerico e H₂, esta fermentación consiste en un proceso rápido que no limitan la velocidad de degradación de compuestos proteicos. Las bacterias que participan en el proceso son *Clostridium*, *Peptococcus* y *Bacteroides*.
- Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga, estos son oxidados a ácidos grasos de cadena corta mediante los mecanismos de β -oxidación que es un ciclo en espiral que va liberando un acetyl-CoA en cada bucle produciéndose ácido acético. Es importante la acción simbiótica de los microorganismos consumidores de hidrogeno para producir este mecanismo pues en condiciones anaerobias es termodinámicamente inestable.

c. ACETOGÉNESIS

En esta fase, la degradación de ácidos orgánicos a acetato, es un proceso de oxidación sin un aceptor interno de electrones, por lo cual se necesitan organismos que oxidan los ácidos orgánicos para utilizar un aceptor de electrones adicional como el ión hidrógeno o el CO₂, y estos son consumidos por organismos metanogénos (Batstone et al., 2002 citado por Rivera, 2010). El pH se encuentra en la zona ácida 6.6 y 6.8 (Guevara, 1996).

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acético), otros (etanol, ácidos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H₂, a través de bacterias acetogénicas (*Syntrophomas wolfey* y *Syntrophobacter wolini*) (Ortega, 2006).

La oxidación del acetato en condiciones mesófilas se incrementan conforme aumenta la concentración de sales, principalmente amoníaco y ácidos grasos volátiles (Schnürer et al., 1999 citado por Rivera, 2010). Uno de los principales inhibidores de esta fase es la acumulación de hidrogeno molecular porque provoca la acumulación rápida de sustratos. (Ortega, 2006).

Esta transformación representa la actividad de tres grupos de microorganismos: las bacterias homoacetogénicas, sintróficas u OHPA (Obligate Hydrogen Producing Acetogen) y las sulforeductoras (Ruiz, 2002).

Las bacterias homoacetogénicas producen acetato únicamente, a partir de una mezcla de hidrógeno-dióxido de carbono y de algunos compuestos multicarbonados o monocarbonados.

Las principales reacciones que se dan en esta etapa se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Principales reacciones acetogénicas

REACCIONES ACETOGENICAS	ΔG° (KJ)
Etanol y láctico	
$\text{Etanol} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato} + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+9,6
$\text{Lactato}^{-1} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^{-}$	-4,2
Ácidos Grasos	
$\text{Acetato}^{-1} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + 4\text{H}_2 + 2\text{HCO}_3^{-}$	+104,6
$\text{Propionato}^{-1} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + \text{HCO}_3^{-} + \text{H}^+ + 3\text{H}_2$	+76,1
$\text{Butirato}^{-1} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Acetato}^{-1} + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+48,1
$\text{Valerato}^{-1} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{Acetato}^{-1} + 2\text{H}^+ + 4\text{H}_2$	+96,2
Aminoácidos	
$\text{Alanina} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + \text{HCO}_3^{-} + \text{NH}_4^+ + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+7,5
$\text{Aspartato}^{-1} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + 2\text{HCO}_3^{-} + \text{NH}_4^+ + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-14,0
$\text{Leucina} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{isovalerato}^{-1} + \text{HCO}_3^{-} + \text{NH}_4^+ + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+4,2
$\text{Glutamato}^{-1} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Propionato}^{-1} + 2\text{HCO}_3^{-} + \text{NH}_4^+ + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-5,8
$\text{Glutamato}^{-1} + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + 3\text{HCO}_3^{-} + \text{NH}_4^+ + 3\text{H}^+ + 5\text{H}_2$	+70,3

Fuente: Ortega, 2006

d. METANOGENESIS

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. (Marti, 2006).

La metanogénesis es llevada a cabo por un grupo particular de microorganismos productores de metano, representados por 83 especies. Todos los microorganismos son anaeróbicos estrictos, presentando una tasa de crecimiento menor que del resto de microorganismos implicados en la digestión (García et al., 2000).

Las arqueobacterias metanogénicas pueden utilizar sólo un número restringido de sustratos, principalmente acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Pueden clasificarse, según el sustrato que utilizan en dos grupos: hidrogenofílicas y acetoclásticas (Ruiz, 2002).

Las metanogénicas hidrogenofílicas como *Methano bacterium*, *Methanococcus* y *Methanobrevi bacter*; utilizan el hidrógeno y el dióxido de carbono, permitiendo disminuir la presión parcial de hidrógeno, y producen aproximadamente un 30% del metano, (Ferry, 1992)

Las acetoclásticas producen el 70 % restante a partir de acetato. Se encuentran reagrupadas en sólo 9 especies y los géneros *Methanosaeta* (*Methanotrix*) y *Methanosarcina*, son los más frecuentemente encontrados en un digestor. Por lo general, los dos géneros compiten por el sustrato (Ruiz, 2002).

Las principales reacciones que se dan en esta etapa se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Principales reacciones metanogénicas

Reacciones hidrogenotróficas	ΔG° (KJ)
$4H_2 + H^+ + HCO_3^- \rightarrow \text{Acetato}^{-1} + 4H_2O$	-104,6
$4H_2 + 4S^0 \rightarrow 4HS^- + 4H^+$	-112
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135,6
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	-151,9
$4H_2 + 4\text{fumarato} \rightarrow 4\text{succinato}$	-344,6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	-599,6
Interconversión formato-hidrógeno	
$H^+ + HCO_3^- \rightarrow \text{formato} + H_2O$	-1,3
Metanogénesis acetoclástica	
$\text{Acetato} + H_2O \rightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31,0
Metanogénesis a partir de otros substratos	
Fórmico	
$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
Metanol	
$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
Trimetil-amina	
$4(CH_3)_3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
Dimetil-amina	
$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
Monometil-amina	
$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	

Fuente: Ortega, 2006

La metanización de la materia orgánica puede llevarse a cabo en condiciones psicrofílicas (6 a 15 °C), mesófilas (25 a 40 °C) y termófilas (más de 45 °C), no obstante, la digestión se realiza generalmente en régimen mesófilo o termófila, lo que implica un sistema de regulación de la temperatura. La mayor parte de los microorganismos implicados en la digestión se desarrollan en una gama de pH que varía entre 6 y 8, según Ruiz (2002) el

óptimo para los productores de metano se encuentra entre 6,5 y 7,2; mientras que para Mandujano *et al* (1981) está entre 6,7 a 7,5. Un pH de 6,2 en el medio (condiciones acidas) representa una aguda toxicidad para las arqueobacterias metanógenicas (Ruiz, 2002).

4.3.1.3 Parámetros cinéticos de la fermentación

Son aquellos que se fijan antes de iniciado el proceso, señalando las condiciones a las cuales va a trabajar el sistema. Entre estos se encuentra: la dilución ó la concentración de la carga, tiempo de retención, sustrato, nutrientes y la relación C/N (Sasse, 1984).

- **Sustrato**

Se define como el material orgánico que las bacterias transforman hasta convertirlo en biogás. Los elementos más importantes a ser considerados son: el contenido de carbono y nitrógeno, ya que son utilizados por los microorganismos para sus procesos vitales (Ruiz, 2002). Sin embargo, el carbono es consumido de 25 a 30 veces más rápido que el nitrógeno, por tanto se requiere que el contenido de carbono y nitrógeno del material orgánico tenga una relación de 25 a 30 (Del Pilar, 1983). En este sentido no se recomienda utilizar un solo tipo de sustrato, más bien combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un buen balance de nutrientes que promueva el adecuado crecimiento de los microorganismos que degradan la materia orgánica dentro del biodigestor (Guevara, 1996).

- **Nutrientes**

Una de las ventajas de los procesos de digestión anaerobia, frente a los procesos aerobios, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaerobios. Los principales nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos son el carbono, el nitrógeno y el fósforo, y una serie de elementos minerales como S, K, Na, Ca, Mg y Fe que deben de estar presentes a nivel de trazas. Diversos autores han estudiado la relación necesaria entre los nutrientes mayoritarios considerando una relación C: N entre 15-30:1 y C: P de 75-113:1 (Speece, 1987).

- **Relación carbono-nitrógeno (C/N)**

La relación óptima de C/N es de 30:1 para el crecimiento de los microorganismos, cuando la relación es muy estrecha 10:1 hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a la falta de nitrógeno (Soria et al 2000 citado por Carhuancho, 2012).

En el Cuadro 6 se aprecia la relación carbono nitrógeno de distintos materiales

Cuadro 6: Relación C/N de distintos sustratos

Sustrato	% Carbono	% Nitrógeno	Relación C/N
Paja seca de trigo	46	0.53	87
Paja seca de arroz	42	0.64	67
Tallo de maíz	40	0.75	53
Hojas secas	41	1	41
Estiércol de aves	-	-	15
Pasto	14	0.54	27
Estiércol fresco de vaca	16	0.55	29
Estiércol fresco de caballo	10	0.42	24
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.6	13

Fuente: Guevara, 1996

- **Dilución o Concentración de la carga**

Para la producción de biogás, tratamiento de efluentes y operación del reactor no es conveniente que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida, se recomienda una concentración de 5 a 10%. Sobre la base de los sólidos totales de la carga pueden calcularse la concentración de lodos, la cantidad de agua que habrá que agregar y las proporciones de los componentes. (Castillo, 2012).

Para la producción de biol según Restrepo (2001) citado por Carhuancho (2012) la relación materia orgánica agua varía de 1/3 a 1/5 siendo más recomendable utilizar 1/4.

- **Tiempo de retención**

Este parámetro puede definirse como el tiempo que debe permanecer el efluente orgánico en el digestor, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado (INIA, 1997). La influencia de la temperatura de observa en la Figura 2.

Se puede calcular el tiempo de retención mediante la fórmula:

$$Tr = 20 \times \text{factor de corrección}$$

Donde el factor de corrección se determina de la figura, donde se intersectan la temperatura promedio anual y la velocidad de la reacción.

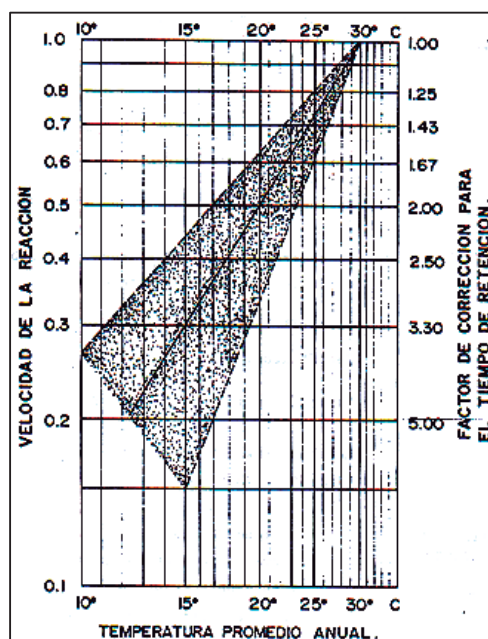


Figura 2. Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención

Fuente: Vargas (1999) citado por Olaya et al (2009).

Del Pilar en el "1º Curso Seminario Nacional de Capacitación en Biogás" llevado a cabo en Cajamarca del 13 al 23 de junio de 1983, contribuyó a que ITINTEC estableciera que para sistemas de pequeña escala el tiempo de retención hidráulico sea igual al tiempo de retención bacteriano.

Se ha observado que para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero el biol con excelentes características como abono orgánico (Soria, 2000 citado por Carhuancho, 2012).

4.3.1.4 Parámetros de control

Son aquellos parámetros que permiten evaluar el desarrollo del proceso, por lo tanto, previenen y/o explican fenómenos que afectan el normal desenvolvimiento del digestor y permiten calcular la eficiencia. Dentro de los parámetros de control hallamos la: temperatura, contenido de ácidos volátiles, alcalinidad, pH, nitrógeno amoniacal y a la producción y composición del biogás (Del Pilar, 1983).

- **Temperatura**

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaerobias funcionan mejor en el rango de 30 a 35°C, donde la producción de biogás es óptima. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de 20°C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10°C la digestión cesa completamente (Silva, 2002).

La temperatura es un factor de gran influencia en la velocidad de la digestión anaerobia porque la velocidad de reacción de este proceso depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez dependen de la temperatura (Martí, 2006). Variaciones bruscas de temperatura pueden provocar la desestabilización del proceso por ello se recomienda un sistema adecuado de agitación y controlador de temperatura (Martí, 2006).

Los tiempos de retención necesarios o recomendados de uso práctico se observan en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Tiempo de retención en el proceso de biodigestión

Temperatura en el biodigestor (°C)	10	15	20	25	30	35
Tiempo de retención (días)	90	60	45	32	30	25

Fuente: Gropelli et al, 2006 citado por Castillo, 2012

Existen tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan, esto se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Rango de temperaturas de acuerdo al tipo de bacteria

Bacterias	Rango de temperaturas	Sensibilidad
Psicrofílicas	Menos de 20°C	+/- 2°C/hora
Mesofílicas	Entre 20°C y 40°C	+/- 1°C/hora
Termofílicas	Más de 40°C	+/- 0.5°C/hora

Fuente: Hilbert, 2006 citado por Carhuacho, 2012

El régimen mesofílico de operación es el más utilizado, estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo. (Martí, 2008).

En reactores sin sistema de calefacción depende de la temperatura ambiente que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimas. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan dormidas y ya no producen biogás. (Martí, 2008). Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás. (Martí H., 2008).

Periodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digestor son usuales para la mayoría de países tropicales. Si las temperaturas ambientes son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35°C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. (Silva, 2002).

- **Desaparición de sustratos y aparición de productos**

Durante el desarrollo del proceso se van a generar productos intermedios y productos finales a partir de los sustratos. A raíz de la degradación de la materia orgánica mediante fermentación se va a producir ácido propionico, butírico y valerico, estos mediante

acetogénesis van a dar lugar a los productos intermedios de ácido acético principalmente junto a hidrógeno y dióxido de carbono y por último mediante metanogénesis se va a generar el producto final de metano, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono/bicarbonato. Estudios previos han demostrado que valores de alcalinidad de bicarbonato mayor a 2500 mg/l aseguran un buen control de pH (Martí, 2006).

- **pH**

Según Marti (2006), los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad entre los siguientes valores:

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

Es por eso que muchos autores coinciden que para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. El valor del pH en el biodigestor no solo determina la producción de biogás, sino también su composición.

Según Verástegui (1979), citado por Palomino (2007) un pH de 7.2 es lo más recomendable, aunque al inicio de la fermentación el pH baja (acidez) por la formación de ácidos orgánicos y CO₂, sin embargo el pH se regula automáticamente al producirse metano.

- **Producción y composición del gas**

La producción del gas se expresa en volumen de gas producido por unidad de masa de sólidos totales. Cabe resaltar que en el proceso de digestión se dan fluctuaciones en la producción y composición del gas, si esta persiste por 4 a 5 días es que hay algún problema en el digestor (Soubes. 1994).

- **Agitación**

La agitación dentro de un reactor tiene como finalidad obtener los siguientes resultados: poner en contacto el sustrato fresco o influente con los microorganismos y mejorar la expulsión de los gases para eliminar los metabolitos producidos por la metanogénesis;

generar una densidad uniforme de microorganismos; evitar la formación de capa superficial, espumas o sedimentación; evitar la formación de espacios no útiles en el reactor que reducirían su efectividad; mantener una temperatura uniforme y sin estratos en todo el reactor (Angelidaki et al, 1999 citado por Saico, 2003).

- **Inhibidores**

El proceso de digestión anaerobia es inhibido por presencia de sustancias tóxicas en el proceso ocasionando la falla de un biodigestor. (Marti, 2006). Estas sustancias están presentes en concentraciones sustanciales en los residuos, lodos y aguas residuales (Chen *et al* 2008 citado por Rivera, 2010), además pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos (Martí, 2006). A continuación en el Cuadro 9 se muestran algunos elementos y compuestos que en determinadas concentraciones inhiben el proceso de digestión anaerobia.

Cuadro 9: Inhibidores del proceso de digestión anaerobia

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄	5 000 ppm
NaCl	40 000 ppm
Nitrato	0.05 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN	25 mg/l
ABS (detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3500 – 5500 mg/l
K	2500 – 4500 mg/l
Ca	2500 – 4500 mg/l
Mg	1000– 1500 mg/l

Fuente: Hilbert, 2006 citado por Carhuancho, 2012

- Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal es un nutriente esencial para los organismos anaeróbicos, pero dependiendo del medio y de la concentración, su toxicidad puede variar. Por encima de los 1500 mg/l a 3000 mg/l en cualquier medio produce efectos inhibidores. En el proceso de digestión anaeróbica el nitrógeno amoniacal se produce en medio alcalino por acción de bacterias que descomponen los aminoácidos por deaminación. En medio ácido no se da la formación de amoníaco porque la degradación de los aminoácidos se da por descarboxilación (Del Pilar, 1983).

- Contenido de ácidos volátiles

Un síntoma típico del mal funcionamiento de los digestores es el aumento de la concentración de los ácidos volátiles en el efluente. La inestabilidad del proceso puede estar relacionada con: la sobrecarga orgánica del digester, entrada de los efectos tóxicos o inhibidores en el efluente, o con una variación de temperatura.

Un gran aumento de los ácidos hará reducir el pH que inhibirá progresivamente las bacterias metanogénicas hasta bloquear completamente el proceso (Jarabo, 1988).

4.4 BIODIGESTOR

Un biodigestor es un recipiente cerrado o tanque, que puede ser construido con diversos materiales, ya sea ladrillo y cemento, metal o plástico. Tiene forma cilíndrica o esférica, con un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y un ducto de salida para el material ya digerido por acción bacteriana. (González, 2011)

Un biodigestor en su forma más simple, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etc.) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo biogás y abonos orgánicos.

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (proceso en ausencia de oxígeno) de las bacterias que habitan en el estiércol, para transformarlo en biogás y abono orgánico (Rodríguez, 2009)

Según Pinto (2012) el biogás que se obtiene de los biodigestores puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se pueden utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol se está tratando con la misma importancia, que el biogás, ya que provee un abono orgánico natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

4.4.1 TIPOS DE BIODIGESTORES

De acuerdo a la forma en que se realiza el proceso de carga, es decir la introducción o vertido del residuo al biodigestor, se distinguen tres tipos:

- Batch o discontinuos
- Semi Continuos
- Continuos

A. Sistema de Batch: Los biodigestores se cargan con material en un solo lote, cuando el rendimiento del gas decae a un bajo nivel, después de un período de fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimenta de nuevo. (Guevara, 1996)

Por lo general el sistema tipo batch consiste en tanques herméticos con una salida de gas la cual es conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

B. Sistema Semi Continuos: La primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el contenido del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad (Guevara, 1996).

Este tipo de biodigestor es el de uso más común en las zonas rurales, debido a que se tratan de diseños pequeños para uso doméstico. Dentro de este tipo, los más populares son el tipo hindú y chino.

C. Sistema Continuo: Cuando la fermentación en el digestor es ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo;

este proceso se aplica en zonas ricas con materiales residuales y digestores de gran tamaño (mayor de 15 m³) y de tamaño mediano (entre 6.3 y 15 m³). (Guevara, 1996).

4.5 MATERIAL DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN

Se denomina material de carga a todo sustrato que se introduce al digestor para su degradación. Los microorganismos metanogénicos, encargados de la producción de biogás necesitan contar con una cantidad considerable de sustrato, de esta manera se evita que el proceso de digestión se vea interrumpido. (Guevara, 1996).

La materia orgánica que se utiliza como material de carga puede dividirse en dos grandes grupos, las materias primas que son ricas en nitrógeno y las que son ricas en carbono. El nitrógeno es utilizado para la formación de la estructura celular y el carbono se utiliza como fuente de energía. (Guevara, 1996).

4.5.1 MATERIAL RICO EN NITRÓGENO

4.5.1.1 Estiércoles más utilizados

Cuando se quiere determinar la cantidad de estiércol a ser usado en un proceso de biodigestión, resulta útil conocer la composición de dicho residuo.

Con frecuencia los valores dados para la producción aproximada de estiércol corresponden a los animales comerciales. Que se encuentran totalmente confinados. En esta forma se puede recoger todo su estiércol. (Martínez, 1979).

Es por este motivo que el uso de un biodigestor resulta más rentable y más ventajoso en granjas grandes donde las aves están en confinamiento.

Algunos desechos utilizados en la fermentación anaeróbica y sus características se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Características del estiércol de algunos animales

Características	Humedad (%)	Sólidos Totales (%)	Carbono seco (%)	Nitrógeno seco (%)	Relación (Carbono/Nitrógeno)
Vacuno	79	21	32	1,5	21
Ovinos	73	27	60	3,7	16
Equinos	75	25	47	2,4	20
Porcinos	69	31	73	2,6	28
Gallináceas	44	56	70,2	3,7	12
Camélidos	57	43	42	2,22	11
Cuyes	32	68	37,2	2,02	17
Conejo	20	80	47,2	0,7	23

Fuente: Verástegui, 1979

4.5.2 MATERIAL RICO EN CARBONO

4.5.2.1 Rastrojo

Los desperdicios de plantas son materiales eminentemente celulósicos (hemicelulosa, lignina, pectina), las más recomendables son las pajas y tallos maduros de cereales que tienen más celulosa y menos lignina. En cambio los menos convenientes son los de los árboles, porque contienen alto contenido de lignina. Las pajas y granos de cereales producen mucho más biogás que el estiércol fresco, pero su contenido de metano es menor (Verástegui y Mateo, 1979).

- **Chala de maíz**

Es una planta que se cultiva por su alto valor forrajero. Sus hojas, tallos y frutos constituyen un alimento verde de gran valor nutritivo para el ganado lechero (Alvarez -Calderón, 1975).

La chala es considerada como un alimento energético para rumiantes por su alto contenido de celulosa y hemicelulosa. Este forraje además presenta bajo nivel de nitrógeno y alto contenido de carbono. (Vizcarra 2006).

Dentro de los residuos agrícolas que más se producen a nivel mundial son, entre, otros, la chala de maíz, las pajas de cebada, trigo y arroz, y los bagazos de caña de azúcar.

Estos subproductos tienen una marcada importancia para ser usados como insumos alimenticios en los sistemas de producción familiar mixta (agrícola y pecuaria). La chala es la parte seca del maíz, luego de la cosecha, se hace secar y lo utilizan como alimento para los ganados, este material se utiliza bastante en toda la sierra del Perú.

Según Zuñiga (1963) las variedades más utilizadas para forraje son Amarillo LM y algunos híbridos. En el Cuadro 11 se presenta las principales características de la chala de maíz.

Cuadro 11: Contenido de la chala de maíz

Rastrojo	%Humedad	%Sólidos Totales	%Carbono (seco)	%Nitrógeno (seco)	Carbono/ Nitrógeno
Chala de maíz	8	92	41.2	0.88	56

Fuente: Verástegui, 1980 citado por Palomino, 2007

4.5.3 PRE COMPOST

Fases Del Proceso de Compostaje

En la Figura 3 se puede observar las fases del proceso de compostaje. A continuación se describe cada fase.

Fase inicial o mesofílico: con una duración de uno o dos días, en el transcurso de los cuales se da un desarrollo violento de las poblaciones de microorganismos aeróbicos, que provocan la degradación de los componentes fácilmente degradables. El azúcar, las grasas, los almidones y las proteínas son rápidamente consumidos, dando el calor necesario para que la temperatura del sustrato aumente. (Baldwin et al, 2000 citado por Ventura Ramírez, 2007).

Fase termofílica: en esta etapa hay un incremento constante de la temperatura interna de la pila de compostaje, como resultado de la intensa actividad biológica (Guerrero, 1993), produciéndose transformaciones hacia materiales orgánicos más estables, con la liberación de dióxido de carbono y agua. En esta etapa se realiza la eliminación de compuestos fitotóxicos y de posibles agentes patógenos. Esta fase puede durar entre 2 a 10 días (Clairon et al., 1982; García et al., 1991; citado por Rivero, 1999).

Fase de estabilización: el proceso de compostaje implica la descomposición biológica, termofílica de todo componente orgánico putrescible que se encuentra en la biomasa, convirtiéndolo en materia estable (Salas et al., 1998 citado por Ventura Ramírez, 2007). A

medida que transcurre el tiempo se produce un descenso de la temperatura alcanzada en la fase termofílica, así como una disminución de las velocidades de degradación y transformación. Se produce además la colonización del material por los microorganismos no dañinos, generalmente mesófilos. En esta etapa se estabiliza el contenido de materiales similares al humus del suelo. (Rivero, 1999)

Fase de curado o maduración: período en el cual la tasa de descomposición decrece y la temperatura se estabiliza a valores próximos a los del medio ambiente (Gurrero, 1993). Durante esta fase los materiales orgánicos continúan descomponiendo y son convertidos en sustancias únicas estables

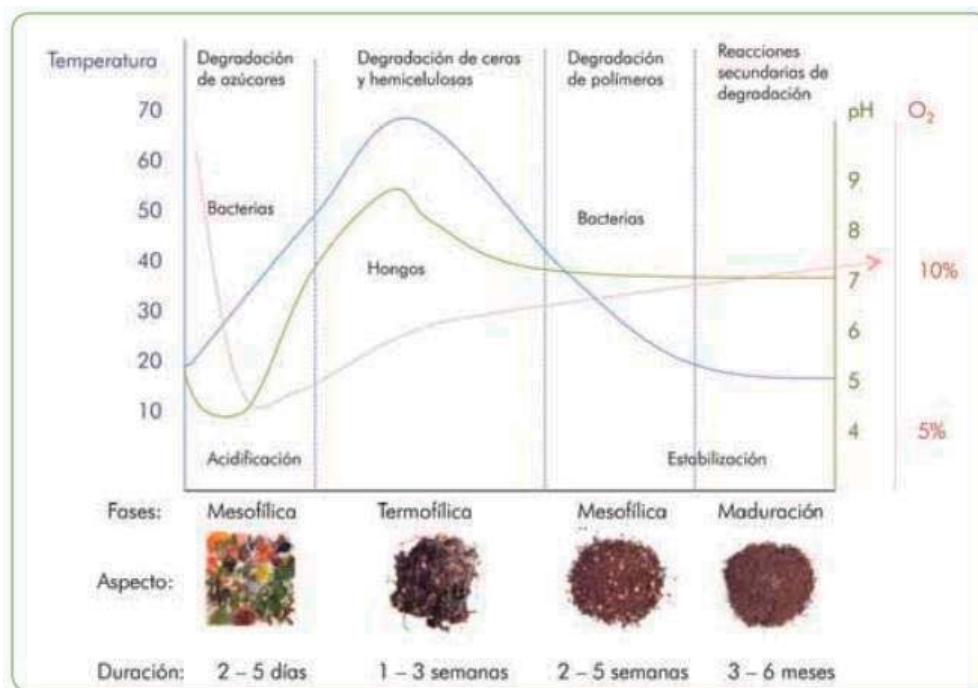


Figura 3. Fases del compostaje

Fuente: FAO, 2013

Importancia de la humedad en el proceso:

Todos los organismos requieren agua para vivir. Cuando el contenido de humedad está por debajo del 30% en peso fresco las reacciones biológicas de la pila de compost se retardan considerablemente, cuando el contenido de humedad es demasiado alto los espacios entre las partículas del material se saturan de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila. El contenido óptimo de humedad se sitúa en 40%. El máximo contenido de humedad en la práctica depende de la firmeza estructural en húmedo de los materiales. Materiales poco

resistentes como el papel, se deshacen rápidamente en el compostaje, los materiales duros tales como la paja y las ramitas mantienen su firmeza en mojado por mucho tiempo y se puede compostar a contenido de humedad altos.

Durante el compostaje por los microorganismos se produce agua y se pierde por evaporación con la corriente de aire, por tanto puede ser necesario proporcionar humedad adicional a la pila de compost (Dalzell et al, 1991 citado por Añaños et al, 2004)

Según Sztern y Pravia, 1999 citado por Añaños, 2004, el control de humedad puede realizarse mediante el siguiente procedimiento empírico:

- Tomar una muestra de material con la mano y apretar fuertemente el mismo
- Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se establece que el material tiene >40%
- Si no se produce un hilo continuo de agua y gotea intermitentemente se puede establecer que su contenido de humedad es cercano a 40%.
- Si el material no gotea y cuando abrimos el puño permanece moldeado, se estima que la humedad esta entre 20-30%.
- Si abrimos el puño y el material se disgrega, se asume que tiene una humedad <20%.

Relación C/N

El nitrógeno se libera como amoníaco (NH_3) durante la descomposición si la relación C/N es menor de 20:1, aunque demasiado carbono puede reducir la tasa de descomposición, cuando esta relación es muy alta (mayor de 20) y el material compostado es aplicado al suelo, la continuación de la actividad microbológica “inmovilizará” nitrógeno al mismo (Opazo, 1991 citado por Ventura, 2007).

Una relación de C/N con valores alrededor de 10-12 son normalmente obtenidos al finalizar el proceso de compostaje (Atallah et al, 1995 citado por Ventura, 2007).

4.6 PRODUCTO DE BIODIGESTORES

4.6.1 BIOGÁS

El biogás es un producto del metabolismo de bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de materias orgánicas en ambientes húmedos y carentes de oxígeno, conocidos como biodigestores.

El biogás representa una fuente de energía, cuyo componente principal es el metano. Toda materia orgánica susceptible de fermentación, puede ser tratada en biodigestores, convirtiéndose en la forma más barata de cuidar el medio ambiente, a la vez que proporciona beneficios en costos de producción, ya que se usa restos vegetales, basura orgánica, estiércol de la explotación agropecuaria, residuos o desechos de la agroindustria, etc (Torres, 1991).

El volumen de biogás obtenido de excretas agrícolas varía de 0,22 a 0,55 m³/Kg de masa sólida húmeda (Fundación CIPAV, 2002)

El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones donde ocurre la transformación. En el Cuadro 12 muestra la composición porcentual del biogás.

Cuadro 12: Composición de biogás derivado de diversas fuentes

Gases	Desechos Agrícolas	Lodos Cloacales	Desechos Industriales	Rellenos Sanitarios	Propiedades
Metano	50-80 %	50-80%	50-70%	45-65%	Combustible
CO ₂	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%	Acido asfixiante
Vapor H ₂ O	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación	Oxidante, reductor
H ₂	0-2 %	0-5%	0-2%	0-1%	Combustible
H ₂ S	100-7000 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm	Corrosivo, toxico
NH ₃	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Corrosivo
CO	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas	Toxico
N ₂	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%	Inerte
O ₂	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%	Corrosivo

Fuente: Carrillo, 2003

Los beneficios que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biodigestor son:

- Tratar totalmente los desechos orgánicos, por lo que se elimina su efecto perjudicial para la salud, los malos olores y la contaminación del entorno.
- Aprovechar el biogás producido para emplearlo en las necesidades energéticas en la cocción de alimentos, en el hogar o en comedores, y eliminar así el empleo de petróleo, leña o cualquier combustible que comúnmente se utilice y que pueda resultar deficitario e incómodo.
- Aprovechar el biogás en el alumbrado de instalaciones o locales que requieran iluminación nocturna, lo que sustituye el empleo de energía eléctrica u otro tipo de fuente energética.
- Aprovechar el biogás producido como combustible en equipos que posean motores de combustión.
- Recuperación y mejoramiento de las condiciones del medio ambiente, con un evidente beneficio ecológico.

4.6.1.1 El Metano

Es el principal constituyente del biogás y en condiciones óptimas puede producirse biogás con 70 % de CH₄. El metano es el componente energético útil y del contenido de este depende el valor combustible de biogás (poder calorífico 5000 Kcal/m³ aproximadamente). (Ascue y Guerrero, 1986).

4.6.2 BIOSOL

La descomposición anaeróbica de desechos orgánicos es mucho más eficiente en la conservación de nitrógeno que la descomposición aeróbica (compost). La fermentación en depósitos cerrados evita pérdidas importantes de fósforo, potasio o calcio contenidos en la materia cruda. Así, el lodo residual obtenido después de la digestión es una pasta de gran valor fertilizante en Nitrógeno, Fosfato y Potasio (Ascue y Guerrero, 1986).

4.6.3 BIOL

4.6.3.1 Definición

El biol es el efluente líquido que se descarga del biodigestor. Dependiendo del tipo de biodigestor, este puede obtenerse, en forma frecuente o intermitente. Por medio de filtración y/o floculación se separa la parte líquida de la sólida. (Medina, 1991).

El biol es una fuente de fitoreguladores, actúa como estimulante orgánico porque promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas (Colque et al 2005 citado por Carhuancho, 2012).

4.6.3.2 Características

El biol es la fracción líquida resultante del lodo proveniente de fermentador o biodigestor. Este lodo es decantado o sedimentado obteniéndose una parte líquida a la cual se llama biol. Según Aparcana (2008) aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma a biol, esto depende de del tipo de material a fermentar y las condiciones de fermentación.

Investigaciones realizadas, permiten comprobar que los bioles aplicados foliarmente a los cultivos (alfalfa, papa, hortalizas) en una concentración entre 20 y 50 % estimulan el crecimiento, mejoran la calidad de los productos e incluso tienen cierto efecto repelente contra las plagas. (Arévalo, 1998).

Gomero y Rabanal (1996) citado por Mendizábal (2003), afirman que el efecto del biol en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos se debe a que en su composición se encuentran diversos precursores hormonales como el ácido indol acético, giberelinas y vitaminas entre otros; además, las experiencias en campo han demostrado que la mayor respuesta (a aplicaciones de biol) se encuentra en suelos de baja fertilidad.

Permite un mejor intercambio catiónico en el suelo, con ello amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo. Asimismo, mantiene la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas. (Aparcana, 2008).

El abono líquido conocido como biol es también una fuente orgánica de fitoreguladores que a diferencia de los nutrientes, en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas. El biol influye sobre actividades agronómicas como el enraizado (aumentando y fortaleciendo la base radicular), acción sobre el follaje (ampliando la base foliar), mejora la floración y el poder germinativo de las semillas, traduciéndose todo esto en un aumento significativo de la cosecha (Susquilanda, 1995).

4.6.3.3 Hormonas vegetales

Las hormonas vegetales o fitohormonas se denominan fitoreguladores del desarrollo producidas por plantas que a bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos, además de promover el desarrollo físico de las plantas. (Aparcana, 2008). Las cuatro principales hormonas vegetales que estimulan la formación de nuevas raíces y su fortalecimiento son: adeninas, purinas, giberelinas y citoquininas. Estas hormonas además inducen la floración, tienen acción fructificante, estimulan el crecimiento de tallo, hojas, etc (Aparcana, 2008).

Según Aparcana (2008), el biol cuenta con estas fitohormonas. Gracias a los desechos del metabolismo de las bacterias típicas de la digestión anaerobia, caso que no presenta el compost. Gracias a este beneficio del biol hace que se requiera menor cantidad de fertilizantes minerales. Ver Cuadro 13.

Cuadro 13: Composición bioquímica del biol

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

Fuente: Aparcana, 2008

4.6.3.4 Fertilización foliar del biol

La fertilización foliar consiste en la aplicación de una solución nutritiva al follaje de las plantas para corregir deficiencias específicas de nutrientes, por lo cual, tiene mayor eficiencia en la absorción de nutrientes en comparación de la fertilización al suelo y permite la aplicación de cualquiera de los nutrientes que las plantas necesitan para lograr un óptimo rendimiento. Permite el aporte de nutrientes cuando existen problemas de fijación del suelo.

La aplicación foliar ha demostrado ser un excelente método para abastecer los requerimientos de los micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno), mientras que simultáneamente puede suplementar parte de los requerimientos de N-P-K-Ca-Mg-S requeridos en los periodos de estado de crecimiento críticos del cultivo.

4.6.3.5 Requerimientos nutricionales de las plantas

a. Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para la vida de las plantas porque estimula el crecimiento por encima del suelo, se encuentra bajo tres formas químicas: orgánica, amoniacal y nítrica. El nitrógeno orgánico procede de la descomposición de materias vegetales (restos de cosechas, estiércol, abonos verdes, etc.). Por acción de algunos microorganismos del suelo, el nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno mineral, es de esa forma en la que el nitrógeno puede ser absorbido por las plantas. La forma nítrica se asimila directamente, en cambio la forma amoniacal tiene que pasar a la forma nítrica, pero una parte de esta también se puede asimilar, sobre todo en la primera fase de las plantas (Lara, 2002 citado por Ricse, 2013).

El nitrógeno es el elemento de efectos más rápidos y pronunciados. Interviene en la constitución de las proteínas y estimula el desarrollo vegetativo, imprimiendo un buen color verde al follaje, aumentando el tamaño de las semillas.

El nitrógeno es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento (Millar, 1964). La planta lo absorbe por las raíces o por las hojas en forma de NO_3^- y NH_4^+ (Russell, 1968); una vez dentro de la planta se reduce y transforma en carbohidratos y finalmente en proteínas. Además es un constituyente esencial de la molécula de clorofila (Tisdale, 1966); por lo tanto

influye en la coloración del follaje y en el tamaño de las cepas de la caña de azúcar. En el Cuadro 14, se muestran los signos de la carencia y exceso de nitrógeno en las plantas.

Cuadro 14: Signos de la carencia y exceso de nitrógeno en las plantas

Característica	Signos
Carencia de nitrógeno	El crecimiento se hace lento, las hojas toman un color verde amarillo, la floración y por consiguiente la fructificación queda mermada, la planta tiene menos defensa contra plagas, enfermedades, heladas y granizadas, las plantas herbáceas ahíjan poco
Exceso de nitrógeno	El gran desarrollo del cultivo dificulta el paso de la luz, con lo cual la base de la planta no se fortalece, retrasa la maduración lo que da lugar a una menor riqueza de azúcar en la fruta, existe una mayor sensibilidad a las enfermedades, debido a que los tejidos permanecen verdes y tiernos durante más tiempo.

Fuente: Lara (2002) citado por Ricse, 2013

b. Fósforo

El fósforo es constituyente de numerosos compuestos fundamentales en la vida de las plantas, forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos, de las coenzimas NAD y NADP y del ATP. En tejidos meristemáticos de las regiones de la planta que son sede de un activo crecimiento, se encuentran fuertes concentraciones de fósforo (Román, 2012).

Las plantas por lo general, no absorben más del 30 – 40% del fósforo asimilable contenido en los fertilizantes, el restante es retenido por el suelo en forma no asimilable, por otro lado, el comportamiento del fósforo en el suelo es bastante complicado debido a que se mueve muy poco en el suelo, es preciso enterrarlo para colocarlo cerca de las raíces.

Según Lara (2002) citado por Ricse (2013), la carencia de fósforo reduce el tamaño y vigor de la planta, retrasa la maduración de los frutos, las hojas adquieren un color verde muy fuerte, casi azulado, apareciendo a veces una coloración púrpura en los bordes de las hojas y en otras partes de tallos y ramas, en general desaparece los efectos beneficiosos que se producen cuando la planta dispone de suficiente cantidad de fósforo.

c. Potasio

El potasio se diferencia de los demás macro elementos por su movilidad y solubilidad dentro de los tejidos. Cuando hay escasez de potasio, el potasio disponible se traslada a las zonas de mayor actividad, que son las hojas jóvenes.

En el campo el suministro de potasio por el suelo, puede ser adecuado para el crecimiento de los cultivos, siempre y cuando el suministro de nitrógeno y fósforo sean bajos; pero es insuficiente si aumentan estos elementos. De tal forma que se observan signos de carencia de K^+ , si se utilizan fertilizantes como nitrógeno y fósforo, produciéndose la muerte prematura de las hojas. Así como el nitrógeno y el fósforo, el potasio se traslada de los órganos maduros hacia los jóvenes; de tal forma que la deficiencia de este elemento se observa primero como amarillamiento ligero en hojas viejas (Hernández, 2002 citado por Ricse (2013))

Según Lara (2002) citado por Ricse (2013), cuando se ven los signos de deficiencia de las plantas quiere decir que la falta de potasio es ya muy grave. El potasio se encuentra en el suelo en pequeñas cantidades y es absorbida por las plantas bajo la forma del ión K^+ , Kemmler (1988) citado por Román (2012), la importancia del potasio en el desarrollo de las plantas es diversa: influye en el intercambio de carbohidratos, en la síntesis de proteínas, regula la actividad de otros elementos minerales, participa en la activación de múltiples enzimas y coordina los movimiento de apertura y cierre de los estomas, regulando así el régimen hídrico de las plantas.

V. MATERIALES, MÉTODOS Y CÁLCULOS

5.1 MATERIALES

- Balanza de 500 kg
- Codornaza de levante
- Codornaza de postura
- Chala de maíz
- Ensayos de laboratorio de Análisis Químicos
- Guantes
- Mandil
- Mascarilla
- Pala
- Inoculo: Purín de cerdo
- Agua
- Cámara de llantas de bicicleta
- Flotadores de piscina
- Prototipo de biodigestores
- Baldes
- Martillo
- Jarra graduada
- Potenciómetro
- Equipo medidor de gases marca LANTEC
- Frascos de monitoreo
- Lapicero
- Libreta de campo

5.2 MÉTODOLÓGÍA Y CÁLCULOS

5.2.1 UBICACIÓN

La Investigación se llevó a cabo en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), detrás del Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

5.2.2 DURACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un periodo de 6 meses.

5.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS PROTOTIPOS DE LOS BIODIGESTORES

Para realizar la fase experimental se preparó seis (6) prototipos de biodigestores tipo batch de 80 litros de capacidad, que consistía en cilindros de color verde con tapa negra, tomando como referencia lo realizado por Castillo (2012).

Estos cilindros se acondicionaron realizando tres perforaciones con ayuda de un taladro, cada orificio va a tener diferente diámetro que va a corresponder a la salida de biogás, la salida del biol y el agitador.

Para la salida del biol se hizo el orificio a 26 cm de la base del envase, asimismo se utilizó accesorios de 1" de espesor que consiste en un niple, una llave de paso, dos tuercas de bronce, dos empaquetaduras y un adaptador.

Para la salida del biogás se realizó un orificio en la tapa y se utilizó accesorios de ½" de espesor que consisten en dos niples, una llave de paso, dos tuercas de bronce, dos empaquetaduras y un adaptador universal

Para la construcción del agitador se colocó en la parte central de la tapa un niple de 1" pulgada de espesor x 40 cm de largo, al interior del cilindro se colocará un tubo de ½" pulgada conectado a una T y dos niples que se les colocará un codo en cada lado y otro niple, formando una T invertida.

Para las uniones de los accesorios se utilizó cinta teflón de ½", bajo el procedimiento de dar 4 vueltas con el teflón en las zonas a unir para el mejor sellado, de esa manera evitar posibles fugas del sistema.

Luego, estos accesorios serán sellados con silicona para evitar cualquier tipo de fuga, además antes del llenado con el sustrato se le realizó un llenado con agua para reconocer posibles fugas.

Para el almacenamiento del gas se utilizó flotadores, mangueras para gas y sus accesorios.

Ver Anexo 4 Fotos de los biodigestores

En la Figura 3 se muestra el esquema del prototipo del biodigestor usado en la presente investigación señalando las magnitudes utilizadas.

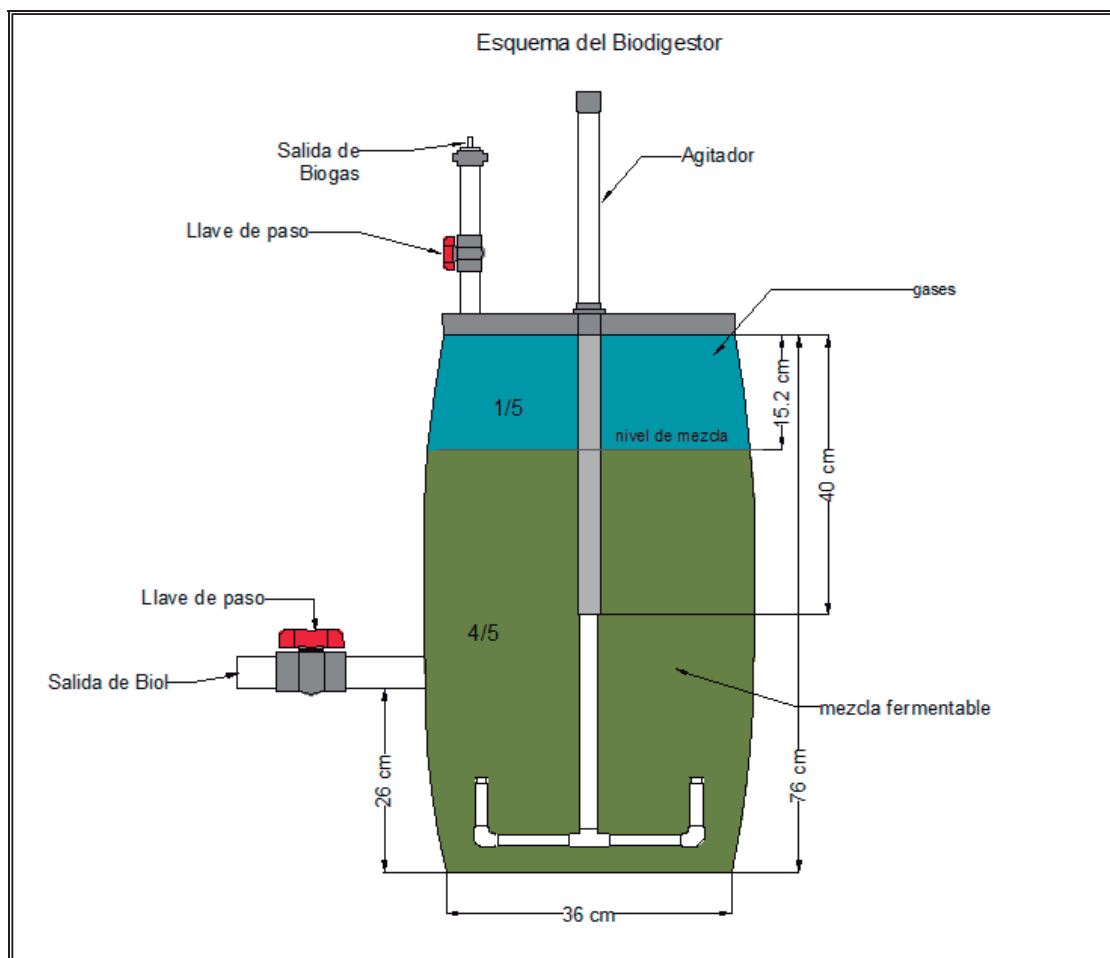


Figura 4. Esquema del prototipo del biodigestor elaborado

Fuente: Gonzales, 2011

5.2.4 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

5.2.4.1 Caracterización de la codornaza, de la chala de maíz y del inóculo

a. Toma de Muestra

Se tomó una muestra de 1 kg de codornaza de postura y 1 kg de codornaza de levante de la granja Velebit S.A.C. en envases de plástico, estas muestras fueron llevadas al laboratorio de Análisis de Agua, Suelos, Plantas y Fertilizantes para su análisis químico.

También se tomó 1 Kg de chala de maíz picado para ser analizado en el mismo laboratorio.

b. Determinación de Carbono y Humedad

El laboratorio para la determinación del carbono utilizó el Método de Walkley y Black en las muestras codornaza de levante, codornaza de postura y en la chala de maíz.

El laboratorio para la determinación de la humedad utilizó el Método Gravimétrico, que consiste básicamente en el cálculo de la humedad por diferencia de peso del estiércol y chala en condiciones naturales y después de secarlo en la estufa a 105° durante 24 horas (Reynolds, 1970).

c. Determinación de Nitrógeno

El laboratorio para determinar el Nitrógeno utilizó el método AOAC 955.04, (A.O.A.C, 1996b), “Método de Kjeldhal”.

5.2.4.2 Determinación de Relación Carbono/Nitrógeno

Se utilizó los resultados de los ensayos de laboratorio para calcular de relación Carbono/Nitrógeno óptima de 30/1 (Soria et al 2000 citado por Carhuacho, 2012) mezclando la codornaza de levante o la codornaza de postura con la chala de maíz. En el Cuadro 15 se presenta los resultados obtenidos de cada sustrato utilizado.

La materia seca se calculó restando el porcentaje de humedad al 100%

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

En los Anexos 1 y 2 se observa los resultados de los ensayos de laboratorio

Cuadro 15: Contenido porcentual de humedad, carbono y nitrógeno

Muestra	Humedad %	Materia Seca %	Carbono %	Nitrógeno %	Relación Carbono/ Nitrógeno
Chala seca de maíz	15.96	84.04	52.08	0.81	64.30
Codornaza fresca de levante	22.85	77.15	44.83	5.6	8.01
Codornaza fresca de postura	59.62	40.38	28.67	6.89	4.16

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Fertilizante de la UNALM

5.2.4.3 Elaboración de Pre-Compost

Para la investigación se tomó una relación carbono/nitrógeno óptima de 30/1, para esto se mezcló una fuente de nitrógeno (codornaza), con una fuente de carbono (chala de maíz).

Tomando como referencia a Castillo (2012) para lograr la relación C/N de 30/1 se realizaron los siguientes cálculos para preparar el pre compost y posteriormente hacer la carga al biodigestor:

$$\frac{\text{Chala} * \%C1 + \text{Estiércol} * \% C2}{\text{Chala} * \%N1 + \text{Estiércol} * \% N2} = 30$$

Dónde:

% C1: porcentaje de carbono de la chala

% C2: porcentaje de carbono del estiércol

% N1: porcentaje de nitrógeno de la chala

% N2: porcentaje de nitrógeno del estiércol

a. Codornaza de levante y chala seca de maíz

Aplicando la fórmula según Castillo (2012) con los datos del Cuadro 15

$$\frac{A*52.08 + L*44.83}{A*0.81 + L*5.6} = 30$$

Dónde:

L: Kg del codornaza de levante

A: Kg de la chala de maíz

Despejando se obtiene por cada kilogramo de codornaza de levante se necesita 4.43 kilogramos de chala de maíz, para obtener una relación C/N óptima de 30, es decir 81.52 % de chala de maíz y 18.48% de codornaza de levante.

Esta fórmula es utilizada para mezcla de materiales secos (0% de humedad) luego de calcular para materiales secos se utilizará para calcular el valor real utilizando el porcentaje de materia seca.

b. Codornaza de postura y chala seca de maíz

Aplicando la fórmula según Castillo, 2012 con los datos del Cuadro 15

$$\frac{A*52.08 + P*28.67}{A*0.81 + P*6.89} = 30$$

Dónde:

P: Kg del codornaza de postura

A: Kg de la chala de maíz

Despejando se obtiene por cada kilogramo de codornaza de postura se necesita 6.41 kilogramos de chala de maíz, para obtener una relación C/N óptima de 30, es decir 86.50 % de chala de maíz y 13.50% de codornaza de postura, como se aprecia en el Cuadro 16.

Cuadro 16: Cantidad usada de estiércol y chala de maíz para el pre compost considerando peso seco

Tipo de estiércol	Kg de chala de maíz (peso seco)	Kg de estiércol (peso seco)
Levante	171.192	38.808
Postura	160.025	24.975

Esta fórmula es utilizada para mezcla de materiales secos (0% de humedad) luego de calcular para materiales secos se utilizará la información del porcentaje de humedad de cada material, lo que se ha analizado previamente en el laboratorio.

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Peso real} = \text{Peso seco} + \text{humedad}$$

Peso real- humedad = peso seco,

Como ya tenemos el valor del peso seco se reemplaza y se calcula el valor del peso real, a continuación se presentan los cálculos realizados:

Porcentaje de humedad del codornaza – levante: 22.85%

Porcentaje de humedad del codornaza - postura: 59.02%

Porcentaje de humedad de chala de maíz: 15.96%

Ver Anexo 1 y 2.

Cálculo para el tratamiento de codornaza en etapa de levante:

Peso real – 0.2285 Peso real = 38.808

Peso real = 50.30 Kg

Cálculo de chala de maíz para el tratamiento de codornaza de levante

Peso real – 0.1596 Peso real = 171.92

Peso real = 203.70 Kg

Cálculo para el tratamiento de codornaza en etapa de postura

Peso real – 0.5902 Peso real = 24.975

Peso real = 61.85 Kg

Cálculo de chala de maíz para el tratamiento de codornaza en etapa de postura

Peso real – 0.1596 Peso real = 160.025

Peso real = 190.42 Kg

El consolidado de los resultados hallados mediante los cálculos realizados se encuentran en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Cantidad usada de estiércol y chala de maíz para el pre compost considerando la humedad de cada material

Tipo de estiércol	Kg de chala de maíz (peso real)	Kg de estiércol (peso real)
Levante	203.70	50.30
Postura	190.42	61.85

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.4 Armado de pre compost

Se armaron dos pilas de precompost de aproximadamente 250 Kg cada una, debido a que por experiencia del profesor de la facultad de Ciencias, con especialidad en microbiología y biotecnología Dr. Víctor Meza índico que con cantidades inferiores no se llega a realizar adecuadamente las etapas mesofílica y termofílica del pre compost, las cuales son necesarias para su degradación.

Según APROLAB (2007) citado por Torres (2013), la materia orgánica se descompone a través de la actividad de los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) que se van alimentando de ella. Pero para poder hacerlo necesitan oxígeno y agua, sin estas condiciones el proceso se detiene o la materia orgánica se pudre (sin suficiente oxígeno) liberando malos olores.

El objetivo del precompost fue descomponer la celulosa y la hemicelulosa de los sustratos, para favorecer el proceso de biodigestión y la hidrólisis no sea un factor limitante. (Castillo, 2012).

En la primera pila de compost se mezcló la codornaza de levante y la chala de maíz, se le rotulo como precompost 1 para identificarlo, de acuerdo a las cantidades que se indican en el Cuadro 17.

En la segunda pila de compost se mezcló la codornaza de postura y la chala de maíz, se le rotulo como precompost 2 para identificarlo, de acuerdo a las cantidades que se indican en el Cuadro 17.

El armado de las pilas de precompost se realizó en la parte posterior del laboratorio de Ingeniería Ambiental, porque se encuentra más accesible a los equipos de medición y para la realización de ensayos de laboratorio.

Se realizó sobre una cubierta de plástico para impermeabilizarlo del suelo, la cantidad de precompost fue de 250 Kg, se procede a alternar chala de maíz y estiércol en 8 capas y se hace orificios hasta la base de la pila con la ayuda de un palo para favorecer a la aireación.

Después con ayuda de una pala se realizaba el volteo cada semana, promoviendo la aireación del mismo. Del mismo modo se añadía agua la cual ayudó a mantener la humedad del estiércol. Un bajo contenido de humedad afectaría el metabolismo microbiano, mientras que altos valores llevarían a la saturación de agua en las cavidades intersticiales, dificultando la difusión de O₂ y favoreciendo condiciones anaeróbicas.

Para el control del contenido de humedad, según Sztern y Pravia (1999) citado por Añaños, 2004, el control de humedad puede realizarse mediante el siguiente procedimiento empírico:

Al tomar una muestra de material con la mano y apretar fuertemente el mismo

- Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se establece que el material tiene >40%, era señal de un exceso de agua.
- Si no se produce un hilo continuo de agua y gotea intermitentemente se puede establecer que su contenido de humedad es cercano a 40%. entonces el nivel de humedad era bueno y no se aplicaba agua.
- Si el material no gotea y cuando abrimos el puño permanece moldeado, se estima que la humedad esta entre 20-30%.
- Si abrimos el puño y el material se disgrega, se asume que tiene una humedad <20%, era una señal que hacía falta agua.

También el riego permite lavar las sales como el carbonato de calcio (proveniente de la alimentación de las aves) que podrían estar en exceso y ser perjudiciales si elevan el pH a niveles alcalinos, que pueden resultar perjudiciales a la

biodigestión, debido a que el pH de una codornaza podría ser muy alcalino de acuerdo a lo que encontró Arias, 2008, en el cual el pH fue de 8.81.

El precompost se realizó por un periodo de 4 semanas después del cual se procedió a la carga del biodigestor. Ver Figura 4 donde se identifica las fases que pasó el precompost durante 4 semanas.

5.2.5 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGÉNICA

El inóculo se obtuvo del programa de cerdos de la Universidad Nacional Agraria La Molina a cargo de la Facultad de Zootecnia. Aproximadamente se cuentan con 500 cerdos (Programa de cerdos, 2012) en distintas etapas de crecimiento, los cuales son alimentados con concentrados de maíz, soja y afrecho.

El purín, producto del proceso de excreción de los cerdos, así como de las actividades de limpieza es almacenado en unos tanques abiertos de concreto, en los cuales el purín se extrae mediante un sistema de bombeo.

La prueba de actividad metanogénica del inóculo es un ensayo de laboratorio que facilita la elección del inóculo en la etapa de puesta en marcha o permite estudiar la adaptación del inóculo durante la operación del reactor.

La técnica permite caracterizar la máxima actividad metanogénica específica del inóculo. Para ello se utiliza un sistema semejante al de Soto et al. (1992), en el cual primero se determina la cantidad de sólidos volátiles y este resultado sirve para el cálculo de la actividad metanogénica, el cual se describe a continuación:

Sabiendo que:

Sólidos totales: son los que permanecen como residuo en el recipiente, después de haberlos secado a 103°-105° durante una hora. Incluye el material volátil, fijo, disuelto, suspendido y sedimentables.

Sólidos volátiles: es lo que se pierde después de someter la muestra a calcinación a 600°C correspondido la parte volatizada a la materia orgánica presente en la muestra

Sólidos fijos: es el residuo que queda en el recipiente después de la calcinación representan la materia orgánica presente en la muestra

Se determina los sólidos volátiles con los siguientes pasos:

Se homogeniza la muestra del purín de cerdo, para luego extraer 50 ml (V) y llevarlo al laboratorio para realizar el pesaje en una capsula de porcelana (M_C), luego se coloca en la estufa (105°C) por 24 horas y se vuelve a pesar el residuo luego de la evaporación (M₁) y finalmente se lleva a la mufla (550°C) por 12 horas y se vuelve a pesar el residuo después de la calcinación (M₂). Luego se calcula la concentración de sólidos totales, fijos y volátiles en el purín de cerdo, mediante las expresiones:

$$[ST] = \frac{M_1 - M_C}{V} \quad [SF] = \frac{M_2 - M_C}{V} \quad [SV] = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Para la determinación de la actividad metanogénica se procede de la siguiente manera:

El digestor de laboratorio tiene un volumen de 500 ml y se conecta a un frasco de Mariotte que contiene una disolución de NaOH de 25g/L. El biogás producido se recoge en el frasco de Mariotte. El CO₂ del biogás reacciona con la solución de NaOH, formando carbonato. De esta forma, sólo el metano alcanza el espacio libre de la botella de sosa, desplazando un volumen equivalente de líquido. Este volumen se recoge en una probeta calibrada. Los ensayos se realizan con una agitación de 200 r.p.m. y a la temperatura de operación del reactor de escala completa. Ver Figura 5.

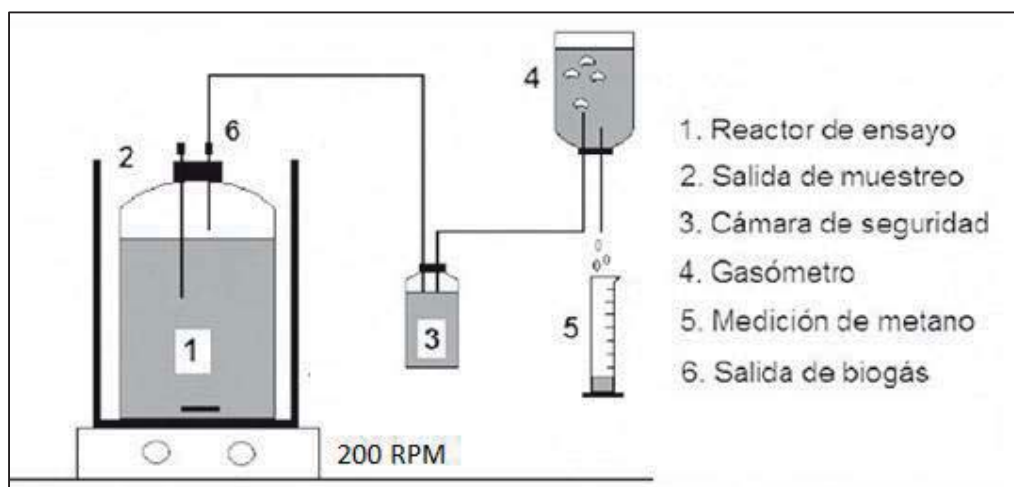
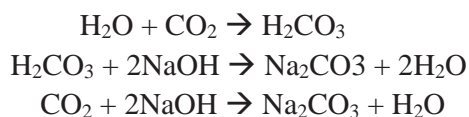


Figura 5. Medición de la actividad metanogénica

Fuente: Soto et al, 1992

El digester trabaja en régimen discontinuo y con una concentración de inóculo [SV]= 5g/L. El sustrato puede consistir en una mezcla de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico, o como en este caso solo ácido acético, siendo la DQO (Demanda Química de oxígeno) inicial del medio DQO = 2g O₂/L. Además se añaden Na₂S como reductor (100 mg/L de Na₂S.9H₂O/L) y NaHCO₃ como fuente de alcalinidad (1g/L). Finalmente se ajusta el pH a 7 con una solución diluida de NaOH.

El método volumétrico se basa en la cuantificación del volumen de metano producido mediante el uso de una sustancia desplazante, como el NaOH, en un rango de 15 -20 g/L (Field, 1987), por su propiedad de reaccionar con el CO₂ presente en el biogás, permitiendo una medición más aproximada del volumen de metano producido. Se recomienda revisar que el pH del NaOH sea superior a 12 unidades para garantizar que éste secuestre el CO₂ producido. Las reacciones que se presentan son las siguientes:



5.2.5.1 Cálculos Previos

I. Volumen del inóculo a ensayar

A partir de la concentración de sólidos volátiles en el lodo, y de la concentración recomendada para el reactor, se calcula el volumen de muestra con la expresión:

$$V_{\text{muestra}} = \frac{(5 \text{ g SV/L}) (0.5 \text{ L})}{[\text{SV}]} = \frac{2.5 \text{ g SV}}{[\text{SV}]}$$

Cuadro 18: Resultados del ensayo de laboratorio

Volumen del inóculo (purín de cerdo)	20 mL
Peso del crisol	38.1219 g
Cápsula + residuo evaporado (105°C x 24 h)	38.5803 g
Cápsula + residuo calcinado (550°C x 12 h)	38.2458 g

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados se calcula la concentración de sólidos volátiles, con este valor se calcula el volumen de la muestra del inóculo al reactor.

$$[SV] = \frac{38.5803 - 38.2458}{20} = 16.725 \text{ g/l}$$

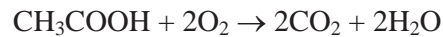
$$\text{Entonces: } V_{\text{muestra}} = \frac{2.5 \text{ g}}{16.275 \text{ g/l}}$$

$$V_{\text{muestra}} = 0.149 \text{ l}$$

$$V_{\text{muestra}} = 149 \text{ ml de inóculo}$$

II. Volumen de Ácido Acético

Con el fin de satisfacer la recomendación de DQO de 2g/L, se usa ácido acético, cuya reacción de oxidación es:



El volumen que se debe agregar ($\rho = 1.05 \text{ g/L}$), es entonces:

$$V_{\text{CH}_3\text{COOH}} = (2\text{g DQO/l}) (0.5 \text{ l}) \times \frac{60\text{g CH}_3\text{COOH}}{64 \text{ g O}_2} \times \frac{1}{1.05 \text{ g CH}_3\text{COOH/ml}} \cong 0.9 \text{ ml CH}_3\text{COOH}$$

5.2.5.2 Procedimiento

Homogenizar el purín de cerdo, tomar el volumen de muestra calculado (149 mL) en una probeta, y colocarlo en una botella de 500 ml que simule el reactor

Pesar 0,5g de bicarbonato (NaHCO_3) en la balanza analítica, disolver en agua destilada en un vaso precipitado y agregar al reactor.

Añadir el volumen calculado de ácido acético (0.9 mL) y agregar agua destilada hasta casi 500ml.

Llevar el digestor al agitador magnético

Medir pH, el cual al inicio fue de 5.19 en agitación leve (200 rpm) para no romper los flóculos; llegar a neutralidad agregando NaOH y al término de la prueba llegó a pH 7.0

Armar el sistema, dejando en agitación y midiendo el volumen en un tiempo determinado por 2 o 3 días.

V. RESULTADOS

Producción de Metano

Los valores medidos se muestran en el Cuadro 19.

Cuadro 19:
Valores de la Prueba de Actividad Metanogénica

Día	Tiempo (Horas)	Volumen (ml)
lunes	0.00	0.0
	0.50	2.8
	0.75	3.8
	1.00	4.1
	1.25	4.3
martes	19.75	5.0
	20.25	5.3
	20.75	5.5
	21.25	5.6
	23.25	5.8
	23.75	6.0
	24.25	6.1
	24.75	6.1
miércoles	25.25	6.2
	44.25	18
	44.75	19.5
	46.50	23
	47.75	25.1
	48.25	26.5
jueves	48.75	27.7
	71.50	43.5
	71.75	43.8
	72.00	44.5
	72.25	45
	72.50	46
	72.75	46.1
73.00	46.5	
viernes	92.75	57
	93.00	57.1
	93.50	57.8

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se presenta el gráfico volumen de generación de metano en el tiempo, la pendiente de la ecuación de la línea de tendencia representa la velocidad de producción de metano.

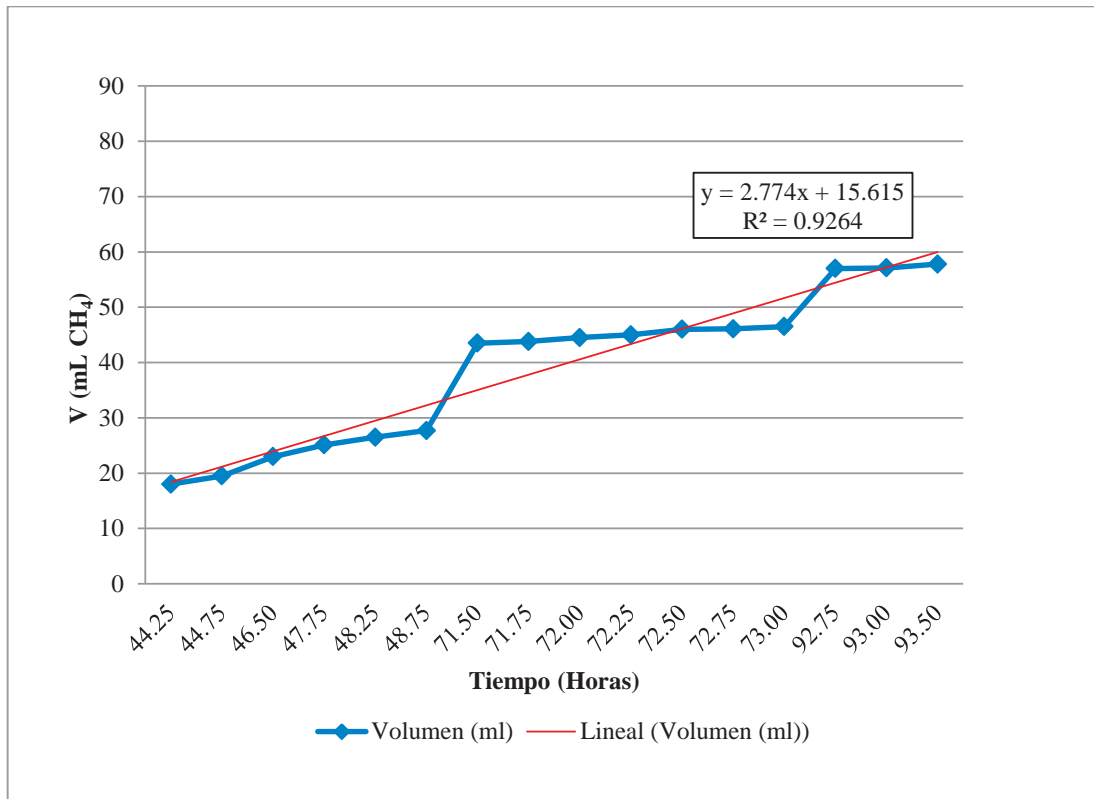


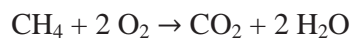
Figura 5. Volumen vs tiempo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Gráfico 5 se observa que la velocidad de producción del metano = $dV_{CH_4}/dt = 2.77 \text{ ml CH}_4/\text{hora}$

Calculo de la actividad metanogénica

La equivalencia del DQO del CH₄ es como sigue:



De la ecuación: Por 1 mol de CH₄ (ó 16 g) consumida, 2 moles de O₂ equivalente se consumen (64 g).

Es decir, 0,0156 mol de CH₄ es equivalente a 1g de O₂ (ó DQO).

Usando la ecuación de los gases ideales se calcula el volumen de CH₄ equivalente a 1g DQO consumida, a las condiciones de 20°C y 740 mmHg (0.97 atm) de presión:

$P \cdot V = nRT$ donde $R = 0,082 \text{ L.atm/mol.K}$, reemplazamos

$$0,97 \text{ atm} \times V = 0,0156 \text{ mol} \times 0,082 \text{ L.atm/mol.K} \times (20+273) \text{ K}$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0,386 \text{ L} = 386 \text{ mL CH}_4/\text{g DQO}$$

La actividad metanogénica es:

$$\text{Actividad} = (dV_{\text{CH}_4}/dt)/V_{\text{CH}_4} \times (24 \text{ h/día}) \times (1/[\text{SSV}])$$

$$\text{Actividad} = \frac{(2.77 \text{ mL CH}_4/\text{h}) \times (24 \text{ h/día})}{386 \text{ mL CH}_4/\text{g DQO}} \times (1/2.5 \text{ g SSV})$$

$$\text{Actividad} = 0.069 \text{ g DQO/g SSV. Día}$$

5.2.6 CARGADO DE BIODIGESTORES

Se realizó dos tratamientos y tres repeticiones los que fueron rotulados con el nombre del sustrato empleado y el número de repeticiones.

El Tratamiento 1 consiste en la mezcla de pre compost elaborado utilizando la mezcla del codornaza de levante y chala de maíz, al cual se adiciona agua e inoculo y se rotulo de la siguiente manera:

Pre-compost de Codornaza de levante + chala de maíz (repetición 1)

Pre-compost de Codornaza de levante + chala de maíz (repetición 2)

Pre-compost de Codornaza de levante + chala de maíz (repetición 3)

El Tratamiento 2 consiste en la mezcla de pre compost elaborado utilizando la codornaza de postura y chala de maíz, el cual se rotulo de la siguiente manera:

Pre-compost de Codornaza de postura + chala de maíz (repetición 1)

Pre-compost de Codornaza de postura + chala de maíz (repetición 2)

Pre-compost de Codornaza de postura + chala de maíz (repetición 3)

Los biodigestores fueron cargados con el precompost preparado, el volumen del precompost cargado tiene una relación de 1/5 con respecto al agua para que la muestra genere biol y biogás de acuerdo a Restrepo (2001) citado por Carhuancho (2012), estos productos pueden ser utilizados por la empresa Velebit SAC como energía o en el caso del biol venderlo a los agricultores como abono líquido orgánico, ya que es una fuente de fitorreguladores y estimulantes orgánicos de las plantas.

Se agitó permanentemente para asegurar que el biodigestor no se atasque con el material sólido, debido a que la concentración de carga fue de 1/6, más del 10% de sólidos totales.

Los cálculos para hallar el volumen de sustrato y agua a mezclar se desarrolla a continuación:

El volumen líquido corresponde al 80% del volumen total del biodigestor:

$$\text{Volumen líquido} = \text{Volumen total biodigestor} \times 0.8$$

$$\text{Volumen líquido} = 80 \text{ litros} \times 0.8 = 64 \text{ litros} \dots(1)$$

Se reemplaza en (1) para el cálculo del sustrato del pre compost a utilizar y se obtiene:

$$\text{Volumen de pre compost} = 64 * 1/6 = 10.67 \text{ Kg}$$

Se hace el cálculo de la cantidad de cada uno de los precompost:

Se tomó como porcentaje de materia seca a 17% o 1/6, debido a que se quiere obtener un biol de buenas características, más que un biogás de buena calidad.

- **Precompost de la codorniz de levante**

Se sabe que:

El pre compost tiene esta relación: 81.52 % de chala de maíz y 18.48% de codornaza de levante.

Porcentaje de humedad del codornaza – levante: 22.85%

Porcentaje de humedad del estiércol de chala de maíz: 15.96%

Entonces:

Chala de maíz es: 81.52% de $10.67 \text{ Kg} = 8.70 \text{ Kg}$

Estiércol de levante es: 18.48% de $10.67 \text{ Kg} = 1.97 \text{ Kg}$

Estos valores son peso seco (0 % de humedad) se calcula en el valor real:

Chala de maíz es: $8.70 \text{ Kg} \div 84.04\% = 10.35 \text{ Kg}$

Estiércol de levante es: $1.97 \text{ Kg} \div 77.15\% = 2.55 \text{ Kg}$

En total se va cargar con $10.35 \text{ kg} + 2.55 \text{ Kg} = \mathbf{12.9 \text{ Kg}}$ de pre compost de estiércol de la etapa de levante

- **Precompost de la codornaza de postura**

Se sabe que:

El pre compost tiene esta relación 86.50% de chala de maíz y 13.50% de codornaza de postura

Porcentaje de humedad del codornaza - postura: 59.02%

Porcentaje de humedad de chala de maíz: 15.96%

Entonces:

Chala de maíz es: 86.50% de $10.67 \text{ Kg} = 9.23 \text{ Kg}$

Estiércol de postura es: 13.50% de $10.67 \text{ Kg} = 1.44 \text{ Kg}$

Estos valores son peso seco (0 % de humedad) se calcula en el valor real:

Chala de maíz es: $9.23 \text{ Kg} \div 84.04\% = 10.98 \text{ Kg}$

Estiércol de postura es: $1.44 \text{ Kg} \div 40.98\% = 3.51 \text{ Kg}$

En total se va cargar con $10.98 \text{ kg} + 3.51 \text{ Kg} = \mathbf{14.49 \text{ Kg}}$ de pre compost de estiércol de la etapa de postura

Asimismo se adicionó el inóculo que corresponde al 10% del volumen líquido. Palomino (2007) menciona que a un biodigestor se le debe agregar de inóculo de 10 a 15% del volumen útil del reactor.

Volumen del inóculo = $64 \times 0.1 = 6.4$ litros

Y al final se adiciono el agua hasta completar los 64 litros.

Los valores calculados de materiales utilizados se pueden observar en el Cuadro 20.

Cuadro 20: Sustratos empleados por tratamiento

Sustrato Tratamiento	Pre compost de codornaza de levante (Kg)	Pre compost de codornaza de compostura (Kg)	Purín de cerdo (L)	Agua (L)
Biodigestor con codornaza de levante	12.9	-	6.4	44.7
Biodigestor con codornaza de postura	-	14.49	6.4	43.11

Fuente: Elaboración propia

Para el cargado de los biodigestores el sustrato, que es el precompost ya tenía la relación carbono/nitrógeno de 30, de acuerdo a los cálculos realizados con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de codornaza y chala.

Después de realizar el cargado se realiza un proceso de agitación por 15 minutos para homogenizar todo el material ingresado al biodigestor, lo que va a permitir asegurar el buen contacto del sustrato con la actividad microbiana.

Para cerrar herméticamente las tapas de los bioreactores se utilizó cámaras de llantas de bicicleta, que se cerró con presión, esto se realizó para evitar todo tipo de fugas de biogás.

Se conectó la llave de paso de la salida del gas hacia un gasómetro (flotador) en el cual se almacenaba el biogás, con los cuales se fueron midiendo el volumen producido en el tiempo por cada bioreactor.

Según la FAO (2013) por lo general cuando un compost está maduro (de 3 a 6 meses) tiene una relación C/N de 12:1 a 20:1, partiendo de 25:1 a 35:1 respectivamente, en el caso de los tratamientos, estos iniciaron con una relación 30:1 y en las 4 semanas que ha estado degradándose gracias a los microorganismos, que han consumido carbono y nitrógeno, posiblemente se haya reducido esta relación, pero no drásticamente.

En el Anexo 4, se observa fotografías de los biodigestores, con la producción de biogás en el gasómetro.

5.2.7 TIEMPO DE RETENCIÓN

El cálculo del factor de corrección en base a la temperatura promedio y velocidad de reacción.

$Tr = 20 \times \text{Factor de corrección (ver Figura 2)}$

$Tr = 20 \times 2.0 = 40 \text{ días}$

El tiempo de retención para el presente estudio fue de 40 días

5.2.8 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

Se consideró los siguientes parámetros a medir: pH y temperatura de fermentación.

- **pH**

Para medir el pH se utilizó el potenciómetro del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM marca ATC, cuyo manual se encuentra en el Anexo 6. La medición se realizó 3 veces por semana durante 3 semanas, después paso a ser realizada 2 veces por semana durante 5 semanas y finalmente se midió una vez por semana durante 4 semanas, debido a que cuando se estuvo realizando las mediciones de forma interdiaria había mucha variación en las mediciones por

eso se evaluó dos veces por semana y al final una vez por semana, se tomó la muestra abriendo la llave de paso, para evitar que cuando se hacia la medición se reduzca la cantidad de biol en el interior del biodigestor y pueda haber intercambio de gases con el ambiente, se tomó la muestra abriendo la llave de paso de 1 pulgada para la salida del biol. Los resultados fueron apuntados en una libreta de campo, para posteriormente ser transcritos en la base de datos de Excel.

- **Temperatura**

La medición de la temperatura interna del biodigestor se tomó 3 veces por semana durante 3 semanas, después paso a ser realizada 2 veces por semana durante 5 semanas y finalmente se midió una vez por semana durante 4 semanas, debido a que cuando se estuvo realizando las mediciones de forma interdiaria había mucha variación en las mediciones, con el mismo potenciómetro de marca ATC del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM, el cual también tenía la opción de medición de temperatura. Se tomó la muestra abriendo la llave de paso de 1 pulgada para la salida del biol. Los resultados fueron apuntados en una libreta de campo, para posteriormente ser transcritos en la base de datos de Excel.

La temperatura externa de los meses de evaluación se le solicitó al Observatorio Von Humboldt.

5.2.9 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS PRODUCIDO

- **Composición del Biogás**

Se utilizó el equipo monitor de gases por extracción, marca LANTEC modelo GEM500. Este equipo mide la composición del biogás (CH₄, CO₂ y otros) en porcentajes de volumen. La medición se realizó 3 veces por semana durante 3 semanas, después paso a ser realizada 2 veces por semana durante 5 semanas y finalmente se midió una vez por semana durante 4 semanas, debido a que cuando se estuvo realizando las mediciones de forma interdiaria había mucha variación en las mediciones, además para evitar que cuando se hacia la medición

ingrese el O₂ al biodigestor, lo que haría variar de manera significativa el porcentaje de CH₄.

- **Volumen de biogás**

El volumen del biogás generado se midió utilizando el método de desplazamiento de volúmenes o Principio de Arquímedes. El gas que se encuentra contenido en los gasómetros (flotadores) desplaza el mismo volumen de agua de un recipiente hacia otro recipiente con un volumen conocido.

Este sistema consta de un inflador que va conectado al gasómetro (flotador) con una manguera, y otra manguera conectada a un recipiente lleno de agua, este recipiente tiene también otra manguera que desplaza el agua hacia otro recipiente de volumen conocido (20 litros).

El volumen de biogás = volumen de agua desplazada, tal como se observa en la fotografía en el Anexo 4.

La medición del volumen se realizó una vez cada semana.

Pero debido a que durante el desarrollo del trabajo no se utilizó agua acidulada, el volumen del biogás se redujo por la disolución y adsorción del CO₂ en el agua.

5.2.10 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOL PRODUCIDO

- **Determinación de la presencia de organismos patógenos**

Los organismos patógenos (coliformes fecales, coliformes totales y *E. coli*) fueron analizados dos veces en todo el proceso, al inicio de este y al final con el objetivo de determinar la reducción de estos organismos al culminar el proceso.

El primer muestreo se tomó en cada uno de los precompost, al terminar de armar las pilas, fueron recogidos en envases de vidrio esterilizados, que fueron llevados para su respectivo ensayo al Laboratorio EQUAS S.A. (Environmental Quality Analytical Services S.A), el cual se encuentra acreditado ante INDECOPI

El segundo muestreo se realizó al final del proceso, se utilizó para la recolección del biol en envases de vidrio esterilizado los cuales también fueron llevados al laboratorio antes mencionado.

Se utilizó el método estandarizado de tubos múltiples APHA, AWW, WEF. Part. 9221E1 21 Thed 2006. Ver resultado de ensayo de Laboratorio en el Anexo 5.

- **Determinación de presencia de macronutrientes en el biol**

Se tomó un litro de biol de cada biodigestor, luego estos fueron llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM, para el ensayo de macronutrientes presentes en la muestra de biol: nitrógeno, fosforo y potasio. Los resultados se pueden observar en el Anexo 3.

- **Criterios de calidad en los bioles**

En la actualidad no existe normativa nacional ni internacional referente a biofertilizantes líquidos. Sin embargo algunos países cuentan normativa de calidad del compost y de lodos de depuración utilizados en el sector agrario, por lo que se utilizarán estas normativas como referencia para la calidad de los bioles.

La calidad de un biol depende de varios factores, básicamente, aquellos relacionados con el origen y naturaleza de los residuos empleados, el proceso de oxidación y los productos que se adicionen para enriquecerlos. (Paneque y Calaña, 2004 citado por Coronado, 2010).

El contenido de N, P, K, Ca y Mg que presenten los abonos orgánicos deberán ser lo más elevado posible, para que el aporte mineral sea suficiente para el desarrollo de cualquier cultivo Ricse, (2013) citado por Medina (2013). Asimismo, Suárez (2009) citado por Medina (2013) propone los siguientes rangos nutricionales para los biofertilizantes líquidos producidos en forma artesanal:

- pH: 5,4 – 7,0
- Nitrógeno: >700 mg/L
- Fósforo: >170 mg/L
- Potasio: >1300 mg/L

La utilización del abono orgánico de buena calidad no debe implicar un riesgo para la salud humana, la calidad del suelo, el agua y el aire. Por tal motivo, es necesario realizar seguimiento tanto a las concentraciones de metales pesados como a la carga microbiana patógena presentes en el abono y que será adicionado al suelo. (Medina, 2013).

5.2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con dos tratamientos y 3 repeticiones cada uno. Para el caso de la presente investigación, se considera como unidad experimental a los reactores, puesto que la unidad experimental es aquella a la cual se le aplica un tratamiento.

Para la validación estadística de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), utilizando el coeficiente de variabilidad (CV).

Para el análisis de varianza tomando 5% de confiabilidad, se utilizó la siguiente nomenclatura: NS cuando no hay diferencia significativa entre tratamientos, el símbolo asterisco (*) cuando existe diferencia significativa entre los tratamientos y dos asteriscos (**) cuando existe una alta diferencia significativa entre los tratamientos.

El coeficiente de variabilidad es un parámetro estadístico que indica, en términos porcentuales, la dispersión de una serie de datos respecto al valor medio. El valor del CV es igual a 0 cuando no existen diferencias entre los puntos, resultando entonces una distribución totalmente homogénea. Se tienen un rango aceptable de 0 a 25% de CV para pruebas de campo para considerarse desde muy bueno (0 – 15% CV) hasta aceptable (15-30%). Si el CV excede 30% se da una interpretación de no homogéneo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

6.1.1 COMPORTAMIENTO DEL pH

La variación del valor del pH se observa en el Cuadro 21, en el cual se ha colocado los valores medidos de los dos tratamientos con sus respectivas tres repeticiones, el promedio de los tratamientos, el coeficiente de variabilidad y el grado de significancia.

Se ha considerado una medición del pH por semana, en total 13 semanas, en los cuales el valor del pH promedio para el tratamiento de codornaza de postura se encontró entre 6.50 a 7.16 y para el tratamiento de codornaza de levante se encontró entre 6.53 a 6.97.

Los datos obtenidos del pH fueron analizados estadísticamente, encontrando que el coeficiente de variabilidad fue menor al 15%, lo que indica que son muy buenos los resultados.

Asimismo no son significativas las primeras 9 mediciones lo que indica que ambos tratamientos son similares en comportamiento por el contrario en las 4 últimas semanas se observa que hay mayor diferencia entre ambos tratamientos, siendo el tratamiento con codornaza de levante el que mantiene el valor del pH y el de codornaza de postura tienen un incremento continuo del valor del pH poniéndose cada vez más alcalino.

La mayor temperatura interior fue alcanzada por el tratamiento con codornaza de levante, esto coincide con la mayor producción acumulada de biogás debido al metabolismo de las bacterias metanogénicas.

Este parámetro es muy variable durante la digestión anaerobia, con una tendencia a la reducción de la temperatura en el tiempo.

Cuadro 21: Comportamiento del pH

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	6.98	6.60	6.73	6.73	6.81	6.84	6.87	7.06	6.83	6.86	6.68	6.80	6.96
LEVANTE	2	6.95	6.55	6.71	6.72	6.81	6.71	6.77	6.79	6.74	6.82	6.62	6.80	6.85
LEVANTE	3	6.99	6.45	6.62	6.67	6.70	6.72	6.78	6.90	6.70	6.85	6.68	6.82	6.94
POSTURA	1	6.87	6.45	6.62	6.66	6.70	6.75	6.82	6.91	6.79	7.03	6.92	6.90	7.14
POSTURA	2	6.92	6.50	6.61	6.68	6.75	6.77	6.81	6.93	6.89	6.98	6.87	7.01	7.12
POSTURA	3	6.96	6.55	6.62	6.71	6.75	6.79	6.80	6.89	6.87	7.00	6.92	7.11	7.22
LEVANTE		6.97	6.53	6.69	6.71	6.77	6.76	6.81	6.92	6.76	6.84	6.66	6.81	6.92
POSTURA		6.92	6.50	6.62	6.68	6.73	6.77	6.81	6.91	6.85	7.00	6.90	7.01	7.16
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	0.51	0.99	0.63	0.43	0.73	0.78	0.58	0.40	0.88	0.33	0.47	1.08	0.79
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*	**

Fuente: Elaboración propia

La temperatura promedio se encuentra por debajo de la temperatura óptima (35°C) para el desarrollo de bacterias metanogénicas (Silva, 2002).

La biodigestión de los sustratos se desarrolla en el rango mesofílico (20 a 40°C). El intervalo mesofílico es el más utilizado, pese a que en el termofílico es donde se tiene la mayor producción de biogás. Esto es debido a la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas, lo que conlleva a un mayor control del sistema y, por tanto, a una actividad más costosa. Por otro lado, en este intervalo de temperatura el mantenimiento del sistema consume más energía que la que puede proporcionar el gas resultante (Cuesta et al., sf citado por Cárdenas, 2012).

Durante el proceso de biodigestión el metabolismo de las bacterias y el crecimiento microbiano aumenta la temperatura interna del reactor.

En la figura 6 se puede observar el comportamiento del pH, tanto en el tratamiento con codornaza de postura como de levante existe un comportamiento similar, ambos iniciaron con un pH de 6.92 y 6.97 respectivamente, reduciéndose drásticamente hasta 6.5, esto se debe a la fase de acidogénesis en el cual se producen ácidos grasos volátiles que producen la acidificación del medio durante la primera semana, luego pasa a la fase de la acetogénesis y metanogénesis, en los cuales el pH se va incrementando con el tiempo tal como se observa el tratamiento de codornaza de levante se estabiliza entre los valores 6.8 a 6.95, no llegando a aumentar su alcalinidad, por el contrario en el caso del tratamiento con codornaza de postura su valor continua elevándose sin estabilizarse, llegando a un valor más alcalino de 7.16.

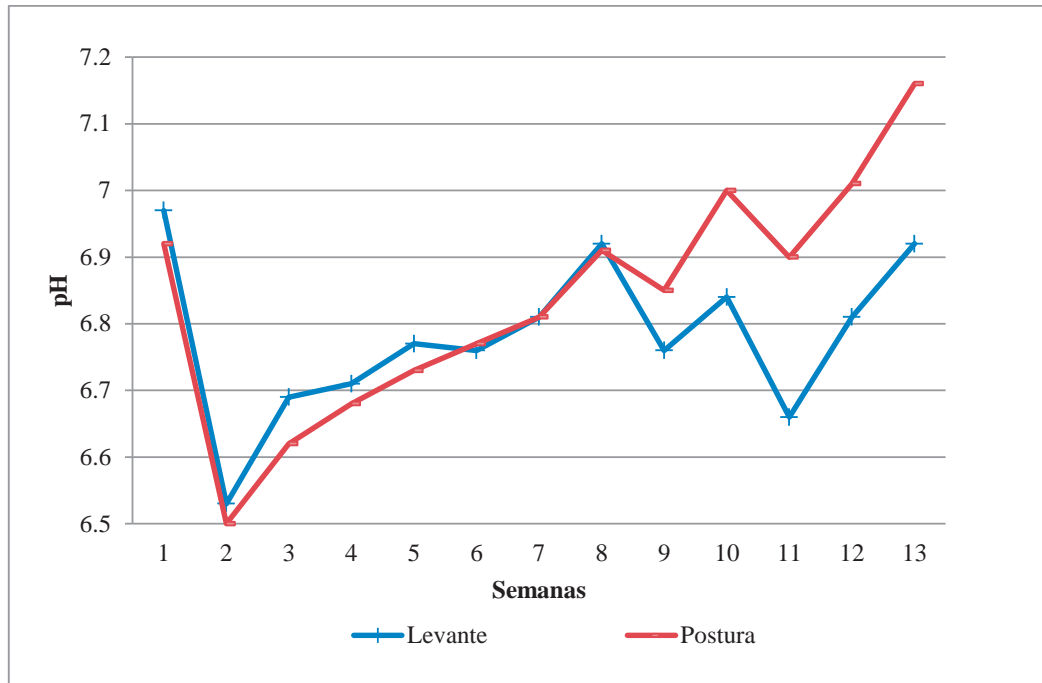


Figura 6. Comportamiento del pH
Fuente: Elaboración propia

6.1.2 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA

La variación del valor de la temperatura se observa en el Cuadro 22, en el cual se ha colocado los valores medidos de los dos tratamientos en sus respectivas tres repeticiones, el promedio de los tratamientos, el coeficiente de variabilidad y el grado de significancia. Las temperaturas se encuentran en grados Celsius (°C) han sido medidos puntualmente entre las 10 am a 12 m. Los datos de temperatura ambiental fueron brindados por el Observatorio Von Humboldt de la UNALM.

Se ha considerado una medición de la temperatura del reactor por semana, en total 13 semanas, en los cuales el valor de la temperatura promedio para el tratamiento de codornaza de postura se encontró entre 18.3 a 28°C y para el tratamiento de codornaza de levante se encontró entre 18.7 a 27.4°C.

Los datos obtenidos de temperatura fueron analizados estadísticamente con el paquete estadístico SAS, encontrando que el coeficiente de variabilidad fue menor al 15%, lo que indica que los resultados son muy buenos.

Asimismo el grado de significancia en 9 mediciones han resultado no significativos y en 2 mediciones ha sido nulo, lo que quiere decir que los dos tratamientos son homogéneos, solo en dos mediciones entre las semanas 9 y 10 han salido significativas lo que se interpretaría que durante estos días los dos tratamientos han tenido diferencia en el comportamiento, esto se pudo deber a una reducción del metabolismo de las bacterias por una reducción de temperatura exterior.

La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de 20°C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10°C la digestión cesa completamente (Silva, 2002).

La mayor temperatura interior fue alcanzada por el tratamiento con codornaza de levante, esto coincide con la mayor producción acumulada de biogás debido al metabolismo de las bacterias metanogénicas.

Este parámetro es muy variable durante la digestión anaerobia, con una tendencia a la reducción de la temperatura en el tiempo.

La temperatura promedio se encuentra por debajo de la temperatura óptima (35°C) para el desarrollo de bacterias metanogénicas (Silva, 2002).

La biodigestión de los sustratos se desarrolla en el rango mesofílico (20 a 40°C), salvo las mediciones de las semanas 8, 12 y 13, que estuvieron por debajo de 20°C (rango psicrófilo). El intervalo mesofílico es el más utilizado, pese a que en el termofílico es donde se tiene la mayor producción de biogás. Esto es debido a la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas, lo que conlleva a un mayor control del sistema y, por tanto, a una actividad más costosa. Por otro lado, en este intervalo de temperatura el mantenimiento del sistema consume más energía que la que puede proporcionar el gas resultante (Cuesta et al., sf citado por Cárdenas, 2012).

Durante el proceso de biodigestión el metabolismo de las bacterias y el crecimiento microbiano aumenta la temperatura interna del reactor.

Cuadro 22: Temperatura promedio interior de los biodigestores (°C)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	22.8	21.7	26.1	21.7	20.6	25.6	20.0	20.0	26.7	23.9	22.2	18.9	20.0
LEVANTE	2	22.8	21.1	27.8	21.7	20.0	26.1	20.0	20.0	27.2	24.4	21.7	18.9	20.0
LEVANTE	3	23.3	21.7	28.3	21.7	21.1	26.7	20.0	19.4	27.2	25.0	21.7	18.3	19.4
POSTURA	1	23.9	21.1	28.3	21.7	21.1	26.1	20.0	19.4	27.8	26.1	21.7	18.3	19.4
POSTURA	2	23.3	20.6	27.8	21.7	20.6	25.6	20.0	18.9	27.8	27.8	22.2	18.3	19.4
POSTURA	3	22.8	20.0	27.8	21.7	20.6	25.6	20.0	19.4	27.8	27.8	22.2	18.3	18.9
LEVANTE	PPROMEDIO	23.0	21.5	27.4	21.7	20.6	26.1	20.0	19.8	27.1	24.4	21.9	18.7	19.8
POSTURA		23.3	20.6	28.0	21.7	20.7	25.7	20.0	19.3	27.8	27.2	22.0	18.3	19.3
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	1.11	1.69	1.87	0	1.18	1.04	0	0.86	0.45	1.80	0.81	0.62	0.86
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n. s.	n. s.	n. s.	.	n. s.	n. s.	.	n. s.	*	*	n. s.	n. s.	n. s.
TEMPERATURA AMBIENTAL		19.70	18.77	18.13	17.70	18.47	18.47	18.43	17.50	17.00	16.27	16.10	15.93	16.20

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 7 que los promedios de temperatura que se registraron han sido variables en el tiempo con una tendencia a la reducción de temperatura, este tiene una influencia directa de la temperatura ambiental del entorno y el metabolismo de las bacterias.

La temperatura ambiental promedio del exterior se ha tomado del Observatorio Von Humboldt de la UNALM, la cual es menor en todo momento que la temperatura interna del biodigestor, así mismo la temperatura interna se reduce durante la primera semana y luego es variable entre 18.3 a 28°C en el tratamiento de codornaza de postura y entre 18.7 a 27.4 °C en el tratamiento con codornaza de levante, la temperatura se reduce significativamente durante las dos últimas semanas. Los incrementos de temperatura coincide con la mayor producción de biogás lo que indica que en el proceso de biodigestión el metabolismo de las bacterias y el crecimiento microbiano aumentan la temperatura interna del reactor.

Además se puede indicar que la temperatura influencia el tiempo de retención de la mezcla en el biodigestor.

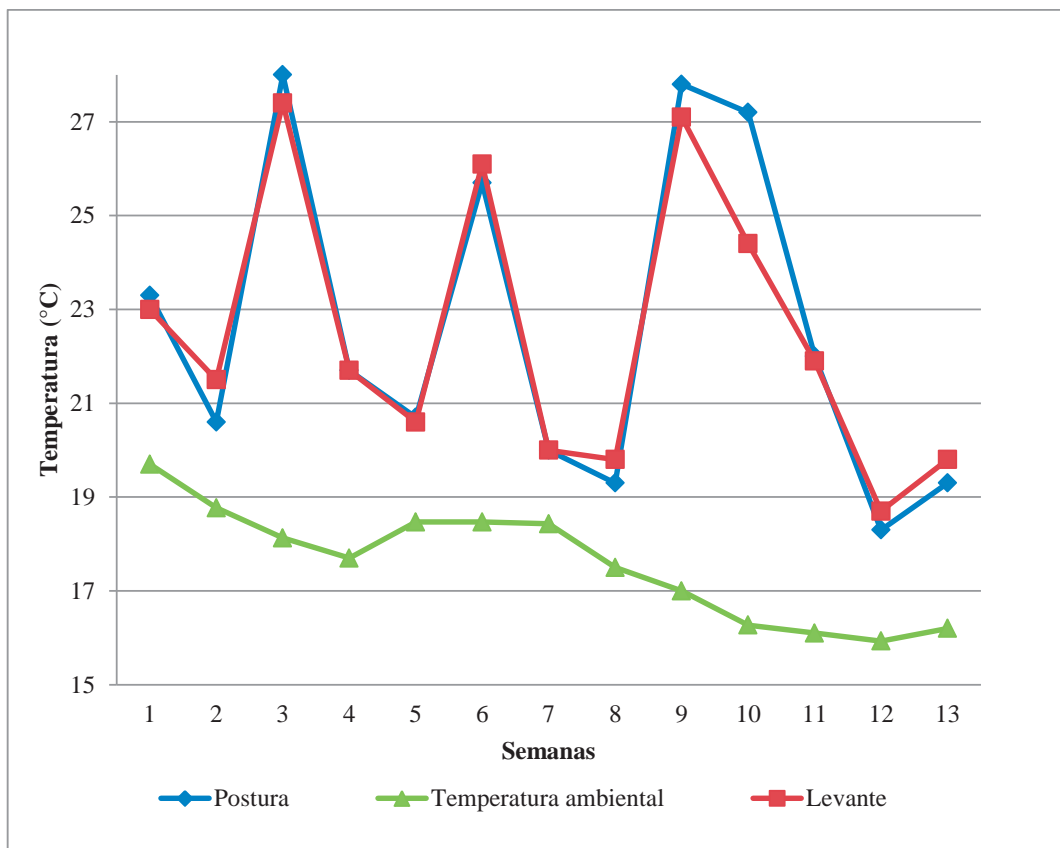


Figura 7. Comportamiento de la temperatura
 Fuente: Elaboración propia

6.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS PRODUCIDO

6.2.1 COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS

En los cuadros 23, 24, 25 y 26 se puede observar los porcentajes medidos en el biogás de CO₂, CH₄, O₂ y BAL (Otros gases) con el LANTEC GEM 500 de los dos tratamientos con sus respectivas tres repeticiones, el promedio de los tratamientos, el coeficiente de variabilidad y el grado de significancia.

Se puede observar en el Cuadro 23 que existe presencia de metano a partir de la primera semana, y que la concentración de metano no llega a estabilizarse completamente en toda la duración del estudio, asimismo al analizar los datos con el paquete estadístico SAS, el coeficiente de variabilidad resulto estar por debajo del 30%, salvo la medición de la cuarta semana que lo supera, lo que indica que estos datos son aceptables salvo este caso. Asimismo el grado de significancia en 12 mediciones es “no significativo” lo

que se interpreta que los dos tratamientos son homogéneos, salvo la medición de la semana 12 la cual salió como “significativo” es decir que los dos tratamientos presentaron distintos comportamientos en esa semana. El porcentaje de metano en el tratamiento de codornaza de postura fue de 1.77% a 40.03%, mientras que el tratamiento con codornaza de levante fue de 0.23% a 44.63%. La temperatura del tratamiento de codornaza de levante tiene mayor incremento que la temperatura del tratamiento de postura. El tratamiento de codornaza de levante se incrementó más que el tratamiento con codornaza de postura.

La calidad de un biogás está medida en función al porcentaje de metano (CH_4) generado por el sustrato, se sabe que el biogás posee entre 40 – 70% de CH_4 y un 30-50% de CO_2 , por tal motivo un buen biogás debe tener un alto porcentaje de metano.

Cuadro 23: Comportamiento del biogás – porcentaje de metano (CH₄)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	0.4	21.3	28.6	9.8	28.3	22.2	22.1	28.6	40.7	37.0	21.4	6.8	10.1
LEVANTE	2	0.1	12.3	16.4	5.3	30.6	17.5	28.5	25.1	39.2	31.5	26.0	8.4	24.4
LEVANTE	3	0.2	29.5	20.1	56.6	34.5	33.6	54.5	33.5	54.0	34.3	45.1	16.0	50.8
POSTURA	1	2.7	26.3	29.7	30.9	45.9	38.6	35.8	7.2	34.7	31.0	42.3	20.0	34.3
POSTURA	2	2.2	21.3	30.6	20.6	36.7	28.8	31.8	36.1	35.8	33.1	37.4	20.8	37.1
POSTURA	3	0.4	21.1	32.8	38.1	35.3	24.43	31.7	33.9	36.4	31.2	40.4	24.8	29.3
LEVANTE	PROMEDIO	0.23	21.03	21.70	23.90	31.13	32.83	35.03	29.07	44.63	34.27	30.83	10.4	28.43
POSTURA		1.77	22.90	31.03	29.87	39.30	32.83	33.1	25.73	35.63	31.76	40.03	21.87	33.57
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	27.97	15.02	9.18	41.42	6.26	12.20	17.07	25.75	14.43	3.11	13.14	13.59	25.63
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.

Fuente: Elaboración propia

En las Figura 8 se observa que el metano se incrementa desde la primera semana de realizado la carga de los tratamientos. El porcentaje de metano es mayor en el tratamiento de codornaza de levante. Además se observa el comportamiento de la producción de metano para los tratamientos de codornaza de postura y de codornaza de levante, existe incremento hasta la quinta semana después varía, en el caso del tratamiento de codornaza de levante llega a la máxima producción de metano en la novena semana (44.63%) y para el tratamiento de codornaza de postura es en las semanas 5 (39.3%) y 11 (40.03%).

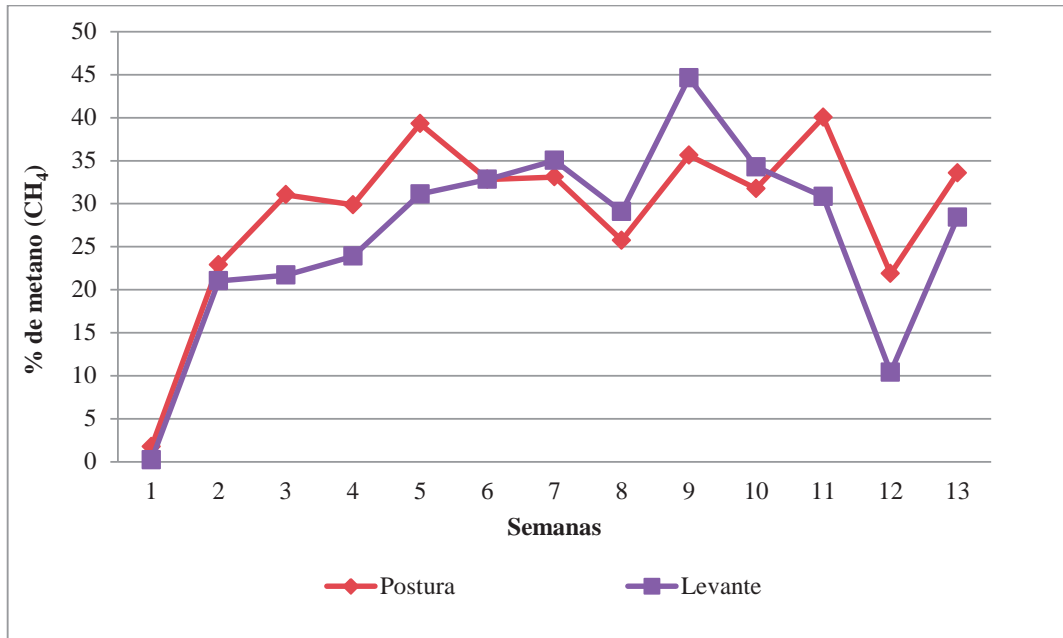


Figura 8. Comportamiento de generación de metano

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el Cuadro 24 que existe presencia de oxígeno en toda la duración del estudio entre 2.5% a 6.37% de O_2 para la codornaza de postura y entre 3.57% a 10.4% de O_2 para el tratamiento de codornaza de levante, asimismo al analizar los datos con el paquete estadístico SAS, el coeficiente de variabilidad resulto estar por debajo del 30%, salvo la medición de la cuarta semana que lo supera, lo que indica que estos datos son aceptables salvo este caso. Asimismo el grado significancia en las 12 mediciones es “no significativo” lo que se interpreta que los dos tratamientos son similares, salvo la medición de la semana 12 la cual salió como “significativo” es decir que los dos tratamientos tuvieron diferente comportamiento en esa semana.

Cuadro 24: Comportamiento del biogás – porcentaje de oxígeno (O₂)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	5.2	3.0	7.1	7.1	5.3	6.9	5.3	5.5	6.5	4.9	7.3	11.3	10.1
LEVANTE	2	10.3	7.4	8.4	8.4	4.8	6.5	4.9	6.7	10.6	5.1	6.5	10.8	6.4
LEVANTE	3	8.4	4.1	7.4	7.4	6.3	5.4	0.5	6.9	4.3	6.9	3.1	9.1	1.1
POSTURA	1	3.8	2.0	4.9	4.9	1.4	4.2	5.1	2.8	2.1	5.9	5.1	7.4	4.4
POSTURA	2	4.7	4.5	3.9	3.9	5.1	6.5	5.2	5.0	10.8	6.0	4.3	7.5	4.6
POSTURA	3	10.1	3.8	2.1	2.1	1.0	4.7	5.4	6.3	3.8	3.5	3.6	4.2	4.4
LEVANTE	PROMEDIO	7.7	4.83	7.63	7.63	5.47	6.27	3.57	6.37	7.13	5.63	5.63	10.4	5.87
POSTURA		6.2	3.43	3.63	3.63	2.5	5.13	5.23	4.7	5.57	5.13	4.33	6.37	4.47
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	20.33	19.74	11.12	44.33	22.05	8.32	25.97	12.44	29.97	11.13	15.54	9.97	31.22
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.

Fuente: Elaboración propia

El O₂ se encontró presente en ambos tratamientos durante todo el desarrollo del trabajo, probablemente se debió a entradas de aire al sistema, lo que posiblemente ha perjudicado la generación de biogás, sobre todo en las partes donde hay contacto entre la parte gaseosa y líquida del biodigestor; esto se debe a que en el caso de las bacterias fermentativas hidrolíticas, acidogénicas y acetogénicas toleran la presencia de oxígeno al tratarse generalmente de microorganismos facultativos; pero el grupo de arqueobacterias metanogénicas (tanto utilizadoras de hidrógeno como acetoclásticas) son microorganismos anaerobios estrictos y presentan fenómenos de inhibición por el oxígeno.

En la Figura 9, se puede observar que la presencia de oxígeno es menor en el tratamiento de codornaza de postura a comparación de lo obtenido por el tratamiento de codornaza de levante, en ambos tratamientos en la semana 12 se eleva el porcentaje de oxígeno presente en el biogás, para el tratamiento de codornaza de postura el porcentaje de oxígeno es menor a .37%, en el caso del tratamiento de la codornaza de levante es menor en casi todo el proceso a 7.7%, no considerando el porcentaje muy elevado (10.4%) que se dio únicamente en la semana 12.

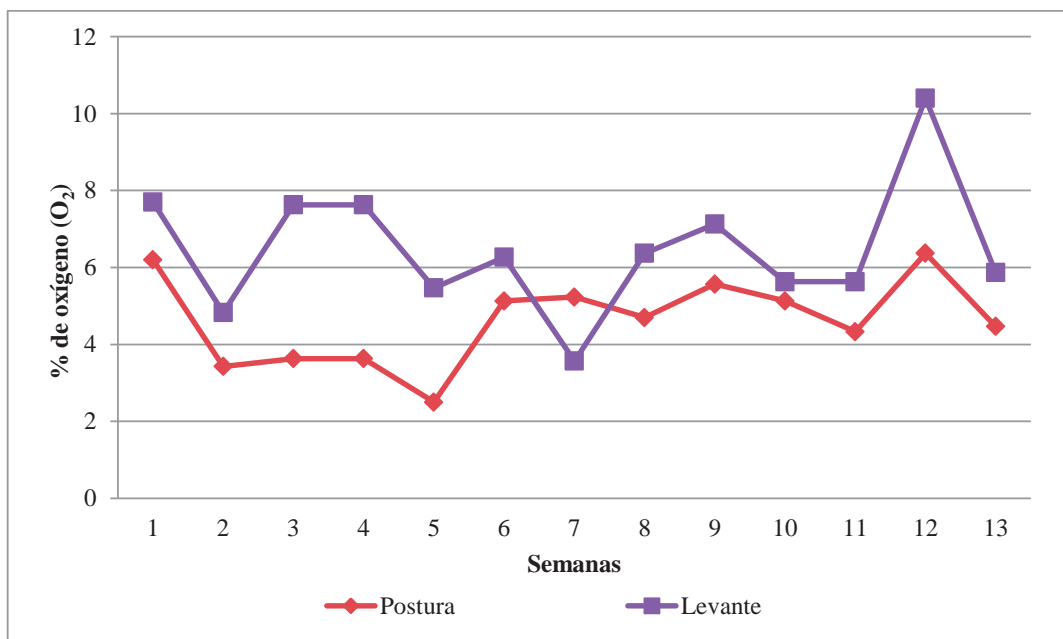


Figura 9. Comportamiento de generación de oxígeno

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el Cuadro 25 que existe presencia de dióxido de carbono en toda la duración del estudio, asimismo al analizar los datos con el paquete estadístico SAS, el coeficiente de variabilidad resultó estar por debajo del 30%, salvo las mediciones de la semanas 1 y 4, semana que lo supera, lo que indica que estos datos son aceptables salvo estos dos casos. Asimismo el grado significancia en las 10 mediciones es “no significativo” lo que indica que los dos tratamientos son similares, salvo la medición de las semanas 3, 6 y 12 la cual salió como “significativo” es decir que los dos tratamientos tuvieron diferente comportamiento en esa semana.

Los porcentajes de CO₂ para los tratamientos fueron similares.

Cuadro 25: Comportamiento del biogás – porcentaje de dióxido de carbono (CO₂)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	8.5	25.7	22.1	14.6	28.7	17.5	14.3	18.8	26.4	25.6	16.1	5.7	8.8
LEVANTE	2	2.9	14.0	13.2	10.0	24.5	20.0	14.1	20.4	25.7	21.3	18.5	7.2	19.7
LEVANTE	3	5.7	31.0	17.4	26.5	38.0	23.4	21.7	32.8	33.6	22.8	28.2	11.6	31.5
POSTURA	1	14.5	38.8	37.4	32.8	34.7	33.0	29.0	23.3	29.5	21.2	26.8	17.2	22.7
POSTURA	2	10.1	31.4	39.7	6.1	39.6	24.5	20.5	23.5	30.6	27.8	28.2	17.3	28.3
POSTURA	3	2.8	31.6	40.9	32.2	41.0	31.4	24.1	24.4	30.5	29.6	32.7	26.1	28.8
LEVANTE	PROMEDIO	5.7	23.57	17.57	17.03	30.4	20.3	16.7	24	28.7	23.23	20.93	8.167	20
POSTURA		9.13	33.93	39.33	23.7	38.43	29.63	24.53	23.73	30.2	26.2	29.23	20.2	26.6
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	31.37	13.17	7.31	33.56	8.04	7.48	10.26	10.81	26.4	6.93	10.27	14.17	19.85
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n. s.	n. s.	**	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.

En la Figura 10, también se observa que con las semanas el porcentaje de dióxido de carbono se mantiene entre 9.13 a 39.33% para el tratamiento con codornaza de postura, y para el tratamiento de codornaza de levante entre los valores 5.7 a 30.04 %, mayor porcentaje de CO₂ presenta el tratamiento de codornaza de postura a comparación del tratamiento de codornaza de levante.

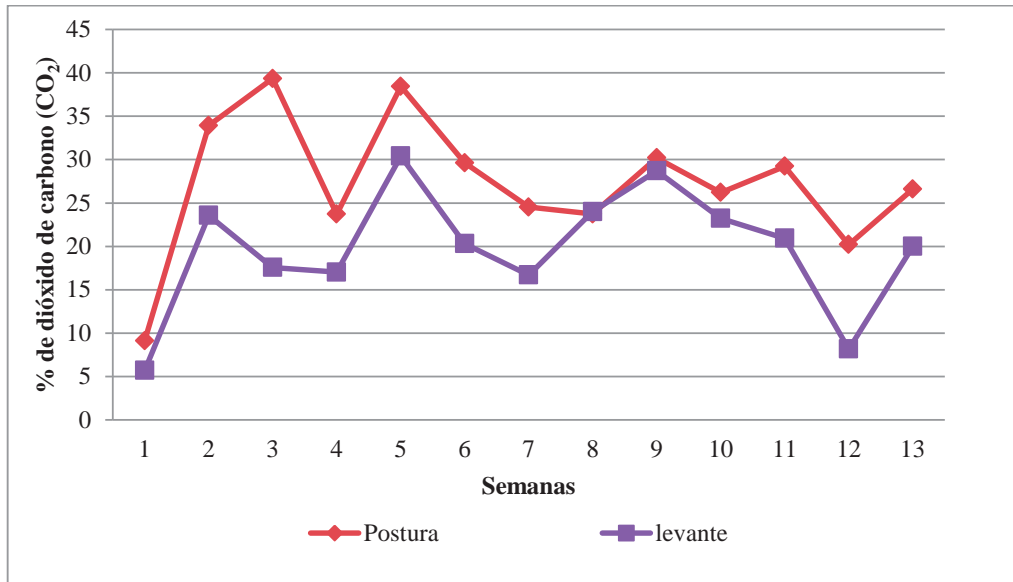


Figura 10 Comportamiento de generación de dióxido de carbono
Fuente: elaboración propia

Se puede observar en el Cuadro 26 que existe presencia de otros gases en toda la duración del estudio y con una tendencia decreciente en el tiempo, asimismo al analizar los datos con el paquete estadístico SAS, el coeficiente de variabilidad resulto estar por debajo del 30%, lo que indica que estos datos son aceptables. Asimismo el grado significancia en las 10 mediciones es “no significativo” lo que se interpreta que los dos tratamientos son similares, salvo la medición de las semanas 3, 8 y 12 los que salieron como “significativos” es decir que los dos tratamientos tuvieron diferente comportamiento en estas semanas.

Cuadro 26: Comportamiento del biogás – porcentaje de otros gases

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		09-jul	16-jul	23-jul	31-jul	08-ago	14-ago	21-ago	27-ago	03-set	13-set	20-set	27-set	05-oct
LEVANTE	1	85.6	49.9	43.2	28.3	48.8	56.7	55.8	48.5	30.3	32.6	55.7	76.5	71.4
LEVANTE	2	86.8	66.7	62.4	35.5	44.6	64.7	46.2	52.8	32.9	44.1	49.0	73.9	49.7
LEVANTE	3	85.6	34.7	55.7	7.2	36.3	43.7	20.0	37.8	15.6	36.9	24.7	64.1	18.8
POSTURA	1	79.0	34.1	28.2	19.1	20.2	30.3	38.3	28.9	31.3	43.4	27.5	55.6	40.7
POSTURA	2	83.0	43.0	26.4	16.8	33.9	54.9	45.3	35.6	29.3	35.8	31.3	57.6	30.7
POSTURA	3	86.5	43.4	23.8	16.7	32.7	41.0	38.9	32.3	28.6	36.2	25.3	44.9	38.3
LEVANTE	PROMEDIO	86	50.43	53.77	23.67	43.23	55.03	40.67	46.37	26.27	37.87	43.13	71.5	46.63
POSTURA		82.83	40.17	26.13	17.53	28.93	42.07	40.83	32.27	29.73	38.47	28.03	52.7	36.57
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	1.60	12.71	7.99	23.87	10.37	12.12	17.68	7.28	16.59	12.91	16.07	5.53	23.58
GRADO DE SIGNIFICANCIA		n. s.	n. s.	*	n.s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n.s.	n. s.	*	n. s.

En la Figura 11, se puede mencionar que el porcentaje de otros gases (Vapor H₂O, H₂, H₂S, NH₃, CO y N₂) en el tratamiento de codornaza de postura inicia en 82.83% , se reduce hasta la cuarta semana llegando a 17.53% para luego variar entre 52.7% a 28.03%, en el caso del biogás del tratamiento de codornaza de levante inicia con 86%, después se reduce y varía entre 23.67% a 71.5%. Durante casi todo el proceso el porcentaje de otros gases presentes en el biogás del tratamiento de codornaza de levante es mayor que el de codornaza de postura.

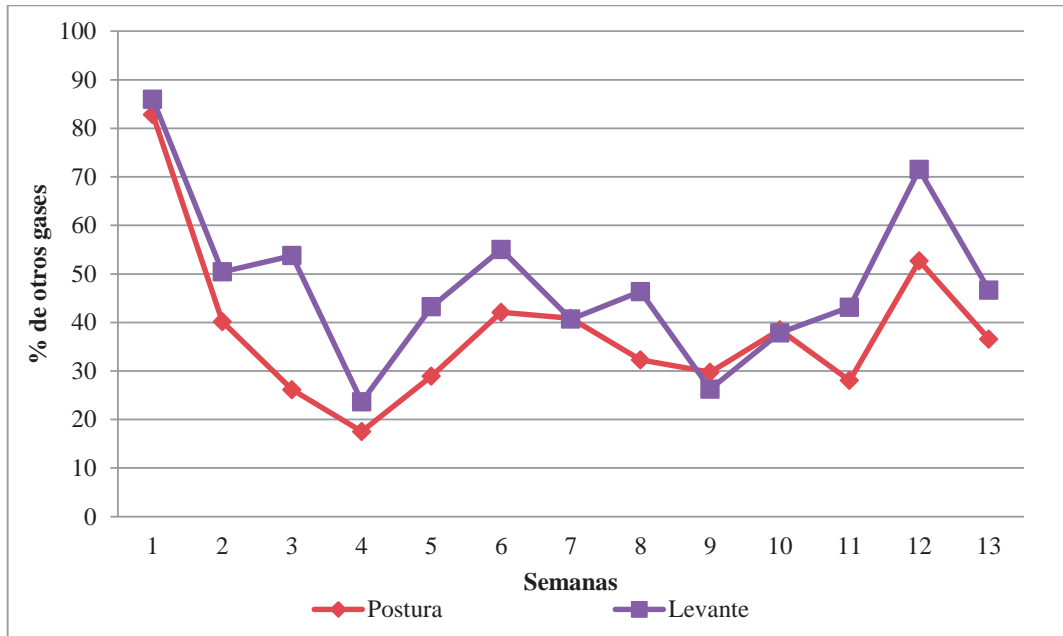


Figura 11. Comportamiento de generación de otros gases
Fuente: elaboración propia

Al comparar los dos tratamientos se puede indicar que el biogás obtenido con codornaza de levante tiene mejores resultados en porcentaje de metano, pero fue más variable que el obtenido a partir de la codornaza de postura.

En ninguno de los dos casos se llegó más de 50% de metano y según Verástegui (1979), un biogás será de buena calidad si el porcentaje de metano supera este valor, esto debió ocurrir como ya se mencionó por la frecuencia de medición de porcentaje de gases y por la temperatura de fermentación anaeróbica.

Comparando los resultados obtenidos con los que obtuvo Castillo, 2012, a partir de la quinta semana ya reportaba porcentajes mayores al 50% y a partir de la tercera semana ya no tenía presencia de oxígeno, esto le permitió tener mejores resultados.

6.2.2 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Las mediciones del volumen de generación de biogás que se han realizado se presentan en el Cuadro 26 se observa que los resultados se van reduciendo en la semana 12 y 13, además se puede mencionar que el volumen de biogás obtenido a partir de codornaza de postura es mayor que el obtenido de codornaza de levante aunque no existe una diferencia significativa.

De las mediciones realizadas al volumen de biogás en los tratamientos, se ha encontrado que el coeficiente de variabilidad es menor al 15%, lo que indica que los datos son confiables, el grado de significancia entre la semana 1 a la semana 5 y de la semana 10 a la semana 11 es no significativo, lo que significa que ambos tratamientos son similares en estas semanas, en cambio las semanas del 6 al 9 han salido que son significativos, quiere decir que su comportamiento ha sido diferente.

De acuerdo con los resultados obtenidos de codornaza en la tesis de Castillo (2012), el cual trabajo con 5% de sólidos totales, en la semana de mayor producción llegó a tener $0.37 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{biodigestor}/\text{día}$ lo cual es un resultado bastante alto en comparación con lo obtenido en el presente trabajo ($0.10 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{biodigestor}/\text{día}$).

En los resultados obtenidos por Castillo (2012), el cual trabajo con 5% de sólidos totales, en 10 semanas de funcionamiento del bioreactor produce 531.1 litros de biogás acumulado, el cual es 5 veces mayor a lo producido en el presente trabajo (105.56 litros del biol de la codornaza de levante y 106.55 del biol a partir de codornaza de postura)

Cuadro 27: Volumen de biogás generado (litros)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	SEMANAS													Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
		12-jul	19-jul	26-jul	02-ago	09-ago	16-ago	23-ago	30-ago	06-set	13-set	20-set	27-set	05-oct	
LEVANTE	1	-	5.572	6.804	8.501	8.780	9.067	8.938	9.803	9.348	9.099	7.771	5.472	4.693	93.8476
LEVANTE	2	-	4.419	6.359	8.111	7.974	9.100	8.661	10.176	9.906	8.864	8.466	5.539	5.604	93.1786
LEVANTE	3	-	5.826	5.690	9.034	11.258	9.817	8.812	12.321	11.235	10.091	11.365	7.127	8.146	110.722
POSTURA	1	-	6.471	9.217	10.015	8.545	10.537	8.817	9.074	9.135	8.883	8.770	5.845	5.511	100.821
POSTURA	2	-	5.452	8.756	6.858	10.232	9.139	8.101	9.935	9.539	9.114	10.362	6.106	6.081	99.6744
POSTURA	3	-	4.795	9.780	10.147	10.034	9.679	8.300	9.894	9.266	8.523	9.450	6.360	5.758	101.9882
LEVANTE	PROMEDIO	-	5.272	6.284	8.549	9.337	9.328	8.804	10.767	10.163	9.351	9.201	6.046	6.148	99.249
POSTURA		-	5.573	9.251	9.007	9.604	9.785	8.406	9.634	9.313	8.840	9.528	6.104	5.783	100.828
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	-	14.73	6.91	15.46	14.52	6.09	3.24	10.00	7.20	5.56	15.61	11.31	21.48	6.6
GRADO DE SIGNIFICANCIA		-	n. s.	**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

Fuente: elaboración propia

En la figura 12 se observa el comportamiento de los volúmenes generados por ambos tratamientos en las 13 semanas, además se observa que la mayor producción de biogás para el tratamiento con codornaza de levante (10.77 litros) se da en la semana 8 y en el caso de la codornaza de postura es en la semana 11 (9.53 litros), coincidiendo con la mayor actividad metanogénica o el mayor registro de porcentaje de metano.

La producción de biogás se calcula dividiendo el volumen de generación de biogás entre el volumen utilizado (80 litros), entre el número de días en que se realizó la fermentación anaerobia, la mayor producción se obtuvo en la semana 8 y fue de $0.09 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{biodigestor}/\text{día}$ para el tratamiento con codornaza de postura y de $0.10 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{biodigestor}/\text{día}$ para el tratamiento con codornaza de levante.

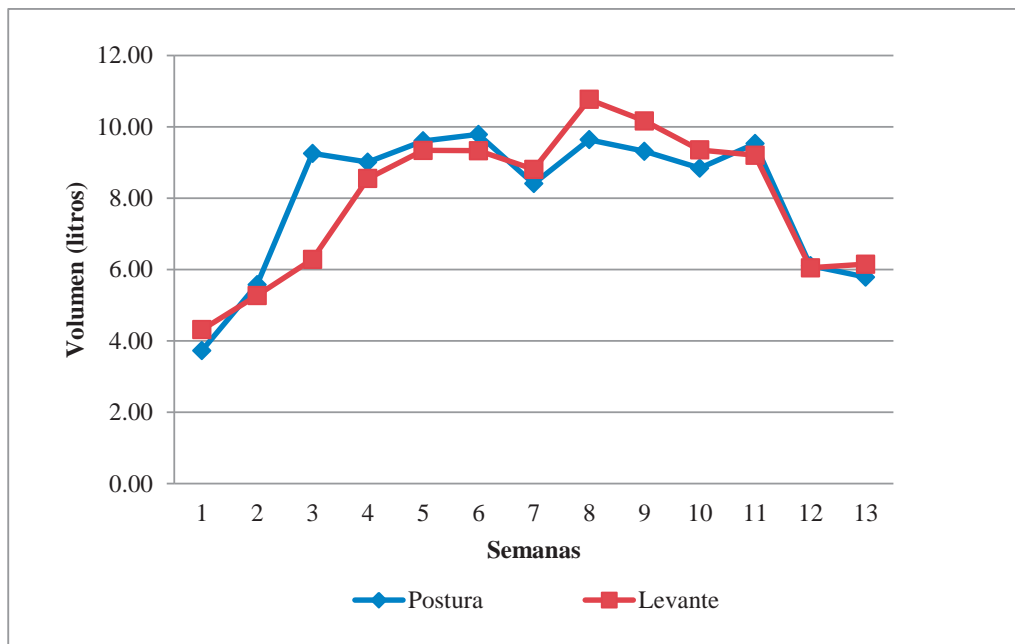


Figura 12. Volumen de producción de biogás

VOLUMEN ACUMULADO

En la Figura 13 se muestra que el mayor volumen acumulado de biogás está dado por el tratamiento de codornaza de levante, aunque no existe una diferencia significativa.

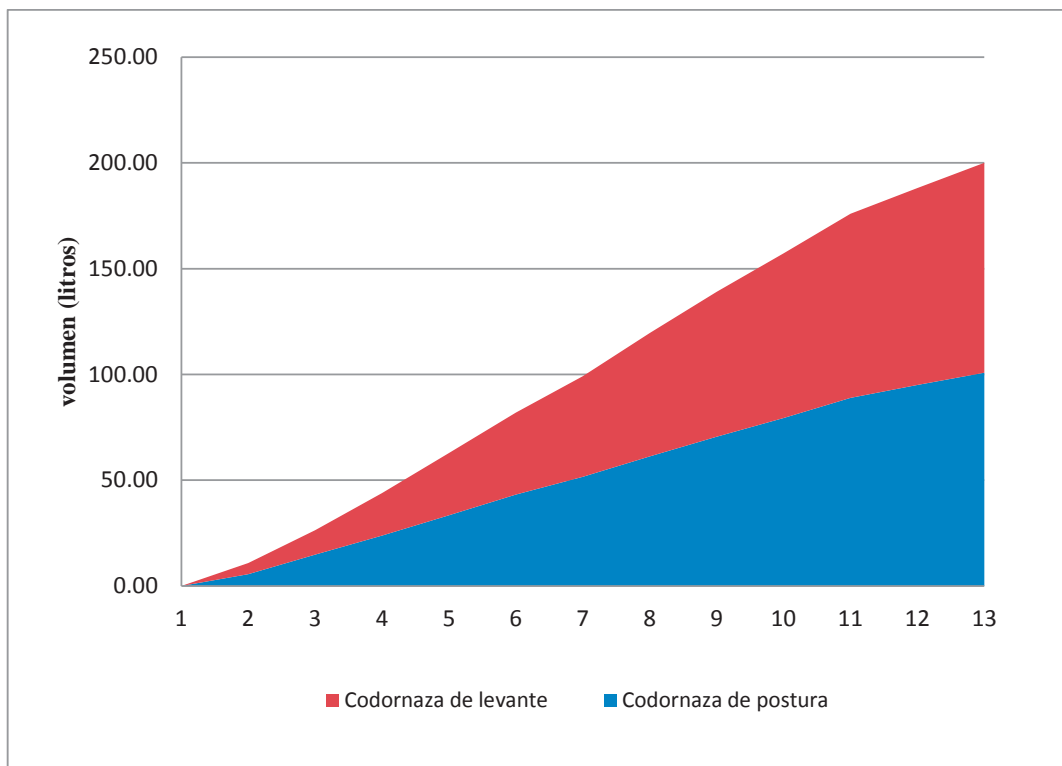


Figura 13. Volumen acumulado de biogás

El tratamiento con codornaza de levante tiene un volumen acumulado de 99.25 litros, y el tratamiento con codornaza de postura tiene un volumen acumulado de 100.83 litros.

En el cuadro 28 se puede observar la producción de biogás expresados en m^3/kg ST en los dos tratamientos.

Cuadro 28: Producción de biogás

Tratamiento	volumen acumulado (litros)	Sólidos totales (kg)	Producción (m^3/kg ST)
Estiércol de codorniz de levante	99.25	10.67	0.009
Estiércol de codorniz de postura	100.83	10.67	0.009

Fuente: Elaboración propia

La producción de biogás como se muestra en el Cuadro 28 fue de 0.009 m³/kg ST para la codornaza de postura y 0.009 m³/kg ST para la codornaza de levante, los resultados son bajos en comparación con lo que encontró Castillo (2012) que fue de 0.165 m³/Kg ST, lo que se pudo deber a la baja capacidad metanogénica del inóculo, las bajas temperaturas exteriores, el mayor porcentaje de sólidos totales, los sólidos totales en los tratamientos fueron del 17% del volumen útil del biodigestor (64 litros).

6.3 PRUEBA DE ACTIVIDAD METANOGENICA

Actividad Metanogénica resultantes es 0.069 g DQO/g SSV. Día

La AME (Actividad Metanogénica Específica) en reactores UASB usados para el tratamiento de aguas residuales es de 0.1 – 1.5 g DQO/g SSV.d (DQO = demanda química de oxígeno; SSV = sólidos suspendidos volátiles) (Soto et al., 1992).

Comparando el valor obtenido con los valores recomendados para plantas de tratamiento de aguas residuales, se encuentra que el inóculo tiene baja capacidad metanogénica, es decir baja generación de biogás, esto pudo deberse a que no tuvo el tiempo suficiente para que arranque el proceso de fermentación y se genere bacterias metanogénicas. Además se observó que el proceso digestivo del cerdo no genera grandes cantidades de bacterias metanogénicas.

6.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOL PRODUCIDO

COMPOSICIÓN DEL BIOL

En el Cuadro 29 se presenta los resultados obtenidos de la concentración de nutrientes en el biol mediante ensayos de laboratorio. Los resultados de laboratorio se puede observar en el Anexo 3.

Cuadro 29: Composición del biol en los tratamientos (mg/l)

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	N	P	K
LEVANTE	1	599.2	128.17	780
LEVANTE	2	565.6	122.39	715
LEVANTE	3	504.0	98.30	708
POSTURA	1	1075.2	290.83	924
POSTURA	2	991.2	276.38	936
POSTURA	3	1013.6	229.82	913
LEVANTE	PROMEDIO	556.27	116.29	734.33
POSTURA		1026.67	265.68	924.33
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	(%)	5.81	13.18	3.52
GRADO DE SIGNIFICANCIA		**	**	**

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 29 se observa que el biol obtenido a partir de la codornaza de postura tiene mejores resultados en concentración de macronutrientes en comparación al biol obtenido a partir de la codornaza de levante, el primero presenta 1026.67 mg/L de nitrógeno, el segundo 556.27 mg/L; en fósforo 265.68 mg/L y 116.29 mg/L, en potasio 924.33 mg/L y 734.33 mg/L. El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que los datos son aceptables. El grado de significancia también indica que ambos bioles son significativamente diferentes.

Comparando los resultados obtenidos de macronutrientes en los dos tratamientos, con los criterios de calidad en bioles, se ha encontrado:

Para que un biol sea de calidad la concentración de nitrógeno debe ser mayor a 700 mg/l lo que se cumple con el biol a partir del tratamiento con codornaza de postura y no se consigue con el tratamiento con codornaza de levante. El fósforo debe ser mayor a 170 mg/l lo que se cumple en el tratamiento a partir de codornaza de postura y no se cumple con el tratamiento de codornaza de levante, el potasio debe ser mayor a 1300 mg/l, en ambos tratamientos no se llega a este valor.

En el Cuadro 31 se puede observar la comparación de diferentes bioles generados a partir de estiércol de animales de granja.

Cuadro 30: Comparación de la calidad del biol generado

Tratamiento	pH	N Total (mg/L)	P Total (mg/L)	K Total (mg/L)
Codornaza de Postura	6.92	1026.67	265.68	924.33
Codornaza de Levante	7.12	556.27	116.29	734.33
Codornaza (1)	7.15	646	173	1615
Gallinaza (1)	7.1	1008	309.4	2183
Gallinaza de piso (5)	5.08	1813	164.76	2500
Estiércol de vacuno (2)	7.15	1194.7	335.6	1594.2
BACB (3)	7.8	900	120	900
La Calera (4)	7.2	1700	3800	5200
Fast biol 20 (6)	3.75	4200	744.20	17200

(1) Castillo, 2012

(2) Torres, 2013

(3) Bio Agricultura Casa Blanca (Felipe-Morales y Moreno, 2009)

(4) Hacienda La Calera

(5) Carhuancho, 2012

(6) Fast biosol 20 de origen vacuno (Peralta, 2010)

En el Cuadro 30 comparando la concentración de macronutrientes con seis bioles obtenidos a partir de diferentes sustratos, se observa que los pH resultantes en la mayoría de casos son neutros, a excepción del tratamiento con fast biol porque este se realiza en un medio ácido.

Con respecto a la concentración de nitrógeno se puede observar que el biol obtenido a partir de la codornaza de levante tuvo bajos resultados a comparación del resto de bioles; el biol a partir de la codornaza de postura tuvo mejores resultados que la codornaza y gallinaza al 5% de sólidos totales de Castillo, 2012 y del biol preparado en la Bioagricultura Casa Blanca.

Las concentraciones de fósforo en el biol a partir de codornaza de levante tuvo menores valores en comparación al resto de los bioles, en cambio el biol preparado a partir de la

codornaza de postura tuvo mejores resultados que la Codornaza al 5% de sólidos totales, preparada por Castillo (2012) que el biol de gallinaza de piso Carhuancho (2012) y de la Bioagricultura Casa Blanca

En cuanto a las concentraciones de potasio el biol obtenido a partir de la codornaza de levante tiene menor resultado que el resto de bioles, en cambio el biol a partir de codornaza de levante tuvo ligeramente mejor resultado que el biol de la Bioagricultura Casa Blanca.

De acuerdo a los resultados encontrados el biol más recomendable es el generado a partir de codornaza en etapa de postura por la mayor concentración de macronutrientes.

Con respecto al biol de La Calera, es superior en aporte de nutrientes en comparación con lo obtenido en los ensayos, porque su proceso tiene una mejor digestión al usar una temperatura de 38°C, agitación constante, frecuencia semicontinuo y contenido de materia seca de 11%. El fast biol 20 también tiene las concentraciones más altas de nitrógeno y potasio que el resto de bioles.

El biol generado tanto de la codornaza de postura como la codornaza de levante no puede ser considerado fertilizante por la baja concentración de macronutrientes, pero si abono orgánico siendo más eficiente si se aplica foliarmente, además contienen fitoreguladores que estimula el desarrollo de las plantas.

6.2.3 REDUCCIÓN DE PATÓGENOS

La toma de la muestra al inicio se realizó el día que se armó la pila de pre compost el 06 de junio del 2012, pero por inconvenientes con el laboratorio se volvió a realizar la misma metodología para el armado del pre compost el mismo día de la toma de muestra del biol que fue el 13 de octubre del 2012 en envases de vidrio previamente esterilizados dados por el laboratorio, ambas muestras fueron llevados al laboratorio EQUAS S.A. (Environmental Quality Analytical Services S.A), el cual se encuentra acreditado ante INDECOPI. Los informes de laboratorio se encuentran en el Anexo 5.

En el Cuadro 30 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio sobre la presencia de coliformes fecales al inicio del tratamiento y en el biol al final del proceso de biodigestión.

Cuadro 31: Presencia de coliformes al inicio y final del estudio

Tratamiento	Coliformes Fecales	
	Inicio (NMP/30 g)	Final (NMP/100 ml)
Codornaza de levante	$2,4 \times 10^6$	$5,4 \times 10^3$
Codornaza de postura	$>1,6 \times 10^9$	$9,2 \times 10^2$

Al inicio del proceso en ambos tratamientos se observa que la presencia de coliformes fecales es alta, durante todo el proceso se ha ido reduciendo, además se observa que el tratamiento con codornaza de postura tuvo mejor remoción de coliformes fecales luego del tratamiento que consistió en precompost y biodigestión en reactores.

Comparando la presencia de coliformes fecales con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua D.S. N° 002-2008-MINAM Categoría de bebidas de animales y riego de vegetales (1000 NMP/100 ml de coliformes fecales) porque estos bioles van a ser usados directamente en el suelo o la planta, se ha encontrado que en el tratamiento con codornaza de postura cumple con el estándar, en cambio lo obtenido a partir del codornaza de levante se encuentra por encima del estándar ambiental mencionado, lo que significa que para ser utilizado como abono deber ser previamente desinfectado para que no produzca daño en las plantas, consumidores y manipuladores.

VII. CONCLUSIONES

- La producción de biogás se ha realizado mediante la elaboración de 06 biodigestores de 80 litros, cuidando de que sean herméticos y se les incorporó dispositivos para la medición de parámetros cinéticos como son: temperatura de fermentación anaeróbica y pH del biol. Asimismo tiene incorporado un sistema de agitación que permitió poner en contacto el sustrato con los microorganismos.
- De acuerdo al análisis estadístico de la composición del biogás, el grado de significancia ha salido en su mayoría como n. s. (no significativo), lo que quiere decir que los dos tratamientos tienen resultados similares. En el caso del Biol, los parámetros de pH y temperatura ha sido n. s. (no significativo: tratamientos similares), esto quiere decir que no hay diferencia entre los tratamientos. Por el contrario, en presencia de macronutrientes ha salido * o ** (significativo): esto señala una gran diferencia entre los tratamientos, siendo el tratamiento de postura el de mejor resultados por su mayor cantidad de macronutrientes hallados.
- El coeficiente de variación de todos los parámetros evaluado se ha mantenido menor a 30% , lo que significa que los datos son confiables
- El pH en todo el proceso de biodigestión para ambos tratamientos se ha mantenido entre 6 a 8, el cual es el rango óptimo para que se realice un proceso de biodigestión anaerobia.
- La temperatura en el interior del bioreactor en ambos tratamientos se ha encontrado en el rango mesófilo, los dos presentan el mismo comportamiento y no llegan a 35°C que es la temperatura óptima del proceso de digestión anaerobia, tienen influencia de la temperatura exterior que se encontró entre 15.93 a 19.7°C.

- Al comparar la calidad del biogás de los dos tratamientos, el resultado fue que su composición son muy similares, este resultado concuerda con el análisis estadístico.
- Ambos tratamientos no llegaron a tener buena calidad de biogás, porque el porcentaje de metano no superó el 50% en ningún momento del estudio, esto se pudo deber a que los biodigestores tienen 17% de sólidos totales, la baja capacidad de generación de biogás del inóculo, la temperatura de fermentación anaeróbica o por la presencia de oxígeno que da como consecuencia que el proceso de biodigestión se haga más lento.
- El oxígeno estuvo presente en todo el proceso de biodigestión, lo cual es un indicador negativo, ya que en presencia de este compuesto no se desarrolla adecuadamente la biodigestión, probablemente porque al momento de hacer las mediciones ha habido ingreso de oxígeno.
- El tratamiento que se realizó con codornaza de postura generó mayor volumen de biogás que el tratamiento con codornaza de levante, esta diferencia es muy pequeña, lo que está de acuerdo al análisis estadístico.
- Existe una gran diferencia en los resultados de concentración de macronutrientes; en el biol del tratamiento a partir de la codornaza de postura es mayor al encontrado en el biol generado del tratamiento de codornaza de levante a pesar que han tenido las mismas características de pH y temperatura, estos resultados concuerdan con el análisis estadístico realizado.
- En ambos tratamientos al final del proceso se ha reducido la concentración de patógenos que se tuvo al inicio del precompostaje; asimismo, en el caso del biol producido a partir de la codornaza de postura se tiene que el resultado ($9,2 \times 10^2$ NMP/100 ml) cumple el ECA para riego de cultivos, lo que indica que puede ser regada directamente a los cultivos sin previa desinfección, en cambio el biol producido a partir de codornaza de levante tiene como resultado ($5,4 \times 10^3$

NMP/100 ml) que no cumple con el ECA mencionado, por lo que debe ser desinfectado para bajar la concentración de los patógenos hasta que cumpla con el estándar para riego de los cultivos.

- El biol que se generó en ambos tratamientos puede ser usado como abono orgánico líquido foliar para las plantas ya que contienen macronutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio) necesarios para su desarrollo adecuado.

VIII. RECOMENDACIONES

- Debido a que el biol a partir de codornaza de postura presenta buenas características de abono orgánico se debe realizar los ensayos de germinación para encontrar la dosis de aplicación adecuada.
- Mejorar el sistema de impermeabilización, se puede cambiar el uso de cámaras de llanta de bicicleta por un material más fácil de cerrar como un fuerte pegamento en la tapa de los bidones.
- Se recomienda previo a la realización la carga a los biodigestores, hacer la prueba de actividad metanogénica al inóculo.
- Se recomienda realizar pruebas de actividad metanogénica al purín de cerdo para determinar si es conveniente utilizarlo como inóculo.
- Para reducir la presencia de coliformes fecales e incrementar la concentración de macronutrientes se recomienda realizar un biol de segunda generación.
- Se recomienda utilizar esta tecnología si existe disponibilidad de materiales ricos en carbono (por ejemplo: chala de maíz), sino se hace costoso.
- Se recomienda realizar el proceso de fermentación homoláctica a la codornaza debido a que esta técnica ha generado mejores características de biol, en estiércoles de otros animales, comparando con el uso de biodigestores.
- Se recomienda realizar la calibración del equipo medidor de gases para el oxígeno, de esa manera tener la certidumbre de que las mediciones son confiables.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILAR, M. 1999. Reciclamiento de Basura: Una opción Ambiental Comunitaria. México: Trillas.
2. ALQUATI, I. 1975. Así se cría la codorniz. 5ta Edición Rabbit S.C.A. Buenos Aires. Pp 84.
3. ALVAREZ-CALDERON, A. 1975. Efectos de tres cantidades de semillas y tres dosis de nitrógeno por hectárea en tres variedades de maíz destinadas para chala. Tesis Agronomía. UNALM. Perú. Pp 68.
4. AÑÑOS, R ET AL 2004. Elaboración de criterios técnicos de calidad para la producción de compost. Trabajo de investigación no experimental. Pp 165.
5. APARCANA, S. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación anaeróbica” para producción de biogás. German ProfECGmbH. Perú. Pp10.
6. ARCHER, B. y KIRSOP, H. 1990. The microbiology and control of anaerobic digestion. Anaerobic digestion: a waste treatment technology, Wheatley A., ed., Elsevier applied science, pp 43-87.
7. ARÉVALO, J. 1998. Efecto del bioabono líquido en la producción de pastos y en la fertilidad del suelo. pp 25.
8. ARIAS, J. 2008. Análisis del comportamiento de dos variedades de arveja, (*Pisum sativum L.*), tipo decumbente, bajo dos métodos de siembra y tres tipos de fertilización orgánica complementaria, en la parroquia Puenbo Cantón Quito”. Tesis Ingeniero Agropecuario. Ibarra – Ecuador.
9. ASCUE, J. y GUERRERO, L. 1986. Biogás en el Perú: Situación de la Tecnología, Reciclaje de la Materia Orgánica tomo 2 – Perú. Cajamarca. Pp 168.
10. BARBADO, J. 2004 Cría de codornices. 4ta Edición. Buenos Aires. Pp 190

11. CARDENAS, J. 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 UNALM. Lima-Perú. Pp 132.
12. 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 UNALM. Lima – Perú. Pp 136.
13. CARRILLO L. 2003. Microbiología Agrícola. Universidad Nacional del Salta. Pp 151.
14. CASTILLO, G. 2012. Evaluación de codornaza y gallinaza de granjas avícolas para la producción de biogás y bioabono mediante digestión anaeróbica. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Pp 95.
15. CORONADO, C. 2010. Efecto de factores físico-químicos sobre las poblaciones microbianas mesofílicas nativas provenientes de biodigestores artesanales. Tesis UNALM. Lima – Perú.
16. DEL PILAR, M. 1983. Variables que influyen el proceso de digestión anaeróbica (1º Curso seminario nacional de capacitación en biogás Cajamarca ITINTEC. 13-23 de junio. pp 1-5.
17. DIETZ, F., y HOOGERVORST, N. 1991. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. Environ. Resour. Econ. Vol 1. Pp 313-332.
18. FAO, 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. Pp 112.
19. FELIPE-MORALES, C. y MORENO U. 2009. Construcción, características y funcionamiento del biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca. Curso de Biodigestores.
20. FERRY, G. 1992 “Biochemistry of Methanogenesis”. Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. 27(6), pp 473-503.
21. FERNÁNDEZ, M. 2007. Producción de Gas Metano en Base a Gallinaza. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Pp 42.

22. FIELD, J., SIERRA, A. y LETTINGA, G. 1988. Ensayos anaeróbicos. 4to Simposio de Tratamientos Anaerobios de Aguas residuales. Valladolid, España. Pp 52-81.
23. FLOTATS, X., BONMATÍ, A., SERO, M. 1997. Clasificación de tecnologías de digestión anaerobia. Aplicación en el aprovechamiento energético de residuos ganaderos. 3r Curso de Ingeniería Ambiental pp.247-267. Publicaciones Univ. Lleida.
24. Fundación CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria). 2002. Biodigestores Plásticos de Flujo Continuo. Investigación y Transferencia en Países Tropicales. Pp 277.
25. GONZÁLES, D. 2011. Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás. Pp 9.
26. GARCÍA, L. PATEL, C. y OLLIVIER, B. 2000 “Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea”. *Anarobe*, 6, pp 205-226
27. GUERRERO, J. 1993. Abonos orgánicos. Editado por la Red de Acción en alternativas al uso de Agroquímicos. Lima – Peru. Pp 89.
28. GUEVARA A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. CEPIS. Lima – Perú. Pp 80.
29. HILER, A. y STOUT, A. 1985. “Biomass Energy” Texas Engineering Experiment Station. Texas A&M University Press, College Station.
30. INIA: Instituto de investigación y tecnología agraria y alimentaria. 1997. Aplicación de las tecnologías de fermentación anaeróbica y otros procesos complementarios en la depuración de efluentes de origen ganadero, pp 8-9.
31. JARABO, F. 1988. El libro de las energías renovables, pp 148.
32. MAGAÑA - RAMIREZ, J. 2006. Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando Estiércol de cabras. *Revista Universitaria de la Universidad de Guanajuato*. Vol.16. No. 2.
33. MANDUJANO, I. FELIX, A y MARTINEZ A. 1981. Biogás energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. México, pp 11.

34. MARTI, J. 2008. Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. GTZ – Bolivia. Pp 83.
35. MARTÍ, N. 2006. Phosphorus Precipitation in anaerobic Digestion Process. Pp 50.
36. MARTÍNEZ, A. 1979. Energía y Fertilizantes a partir de Desechos Orgánicos, Manual para el promotor de la tecnología; Instituto de Investigaciones Eléctricas. México.
37. MATEO, M. 1983. Bioquímica de la digestión anaeróbica (1^{er} Curso Seminario Nacional de Capacitación en biogás Cajamarca 13-23 de junio – ITINTEC), pp 5-11.
38. MCLNEMEY, M, BRYAN, M y ATAFFORD, D. 1979. “Metabolic stages and energetics of microbial anaerobic digestion”. Anaerobic Digestion, Stafford W. y H., Applied Science, pp 91-98.
39. MEDINA A. 1991.El Biol y el Biosol en la Agricultura. Perú
40. MEDINA, A. 2013. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol del ovino producido a través de biodigestores. Tesis UNALM. Lima – Perú.
41. MENDEZ, N.; CASTILLO, E y VASQUEZ E., 2009. Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del Estado de Yucatán. Ingeniería – Revista académica. México. Vol. 13, Núm. 2, pp. 13-21.
42. MENDIZÁBAL, Y. 2003. Evaluación del efecto de biol, bioactivos y fertilización potásica en el rendimiento y calidad del maíz morado (*Zea mays* L.) cultivar PMV-581 bajo riego por goteo. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo- UNALM. Lima, Perú. 30-31pp
43. MINER, J., HUMENIK, F. y OVERCHASH, M. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State University Press. Ames, IA, USA. Pp. 328.
44. MOLETTA, R. 1993.La digestión anaérobica: du plus petit au plus grand”. Biofutur, enero, pp 16-25.

45. MUÑOZ, J., ORTIZ, J. y VÁZQUEZ J. 1987. Técnicas y aplicaciones Agrícolas de la Biometanización – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Madrid. España. Pp 225.
46. NOONE, P. 1990. The treatment of domestic wastes. In Wheatley A anaerobic digestion waste treatment technology. Elsevier Appl Sci. London. Pp 139-170
47. OLAYA, Y, GONZÁLES, L (2009) Fundamentos para el diseño de biodigestores. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA. Pp 32.
48. ORTEGA, N. 2006. Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. ISBN: 1-58112-332-9. Boca Raton Florida. Pp 25.
49. PALOMINO, V. 2007. Tratamiento de Residuos Sólidos Domésticos Mediante Biodigestores para la obtención de Biogás y Bioabonos. Tesis UNALM – Fac. Ciencias. Perú. Pp 105.
50. PERALTA, L. 2010. Determinación de parámetros óptimos en la producción de fastbiol usando las excretas del ganado lechero del establo de la UNALM. Trabajo de investigación para optar el título de Biólogo. Lima – Perú. Pp 120.
51. POWERS, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. In: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, USA. Pp 13-24.
52. RICSE, Y. 2013. Elaboración de biofertilizante acelerada vía fermentación homoláctica del residuo de procesamiento de rocoto (*Capsicum pubescens*). Tesis – UNALM. Pp 113.
53. RIVERA, S. 2010. Estudio cinético de la digestión anaerobia termofílica de pollinaza a escala piloto. Tesis Maestría Ciencias en procesos. Instituto Politécnico Nacional. México. Pp 108.
54. RIVERO, C. 1999. Materia orgánica del suelo. Universidad central de Venezuela. Revista Facultad de Agronomía. Venezuela. Pp 221.
55. RODRÍGUEZ. 2009. Manual de Instalación de un Biodigestor tubular de geomembrana en zonas alto andinas. Pp 39.
56. ROMAN, C. 2012. Tratamiento biológico de cuyinaza a través de un proceso de fermentación homoláctica. Tesis – UNALM. Pp 207.

57. RUIZ, C. 2002. Aplicación de digestores anaerobios discontinuos en el tratamiento de aguas residuales industriales. Sevilla, pp 5 – 35.
58. RUSELL, E. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Aguilar. Madrid.
59. SAICO, L. 2003. Determinación de substratos óptimos para la producción de biogás a partir del estiércol de ganado ovino, vacuno y porcino de los corrales de crianza de la UNALM. Tesis Magister Scientiae – UNALM. Pp 107.
60. SASSE, L. 1984. La planta de biogás: bosquejo y detalle de plantas sencillas, pp 5-83
61. 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. Tesis UNALM. Pp 91.
62. SILVA, J. 2002. Tecnología del biogás. Universidad del Valle. Colombia.
63. SORIA, M. (2000) Producción de biofertilizantes mediante biodigestión en excreta líquida de cerdo. Instituto Tecnológico Agropecuario. México
64. SOTO M., MENDEZ R Y LEMA J.M. 1992. Determinación de toxicidad biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales. Tecnología del agua 92.
65. SOUBES, M. 1994. “Microbiología de la digestión anaerobia”. III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”, Montevideo- Uruguay, pp 15 – 28.
66. SPEECE, E. 1987. Nutrient Requirements en Anaerobic Digestion of Biomass
67. STEIN, G S AND BACON, W L. 1976. Effect of photoperiod upon age and maintenance of sexual development in female coturnixcoturnix japonica Poultry Sci.
68. SUQUILANDA, M. 1995. El Biol. Fitoestimulanteorganic. Editorial Fundeagro-Ecuador
69. TISDALE, S y NELSON, W. 1966. Soil fertility and fertilizers. MacMillan. Nueva York
70. TOERIEN, D Y HATTINGH, W. 1969. The microbiology of anaerobic digestion. Water Research, 3, pp 385-389.

71. TORRES, A 2013. Influencia del abono bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. Tesis UNALM.
72. TORRES, C. 1991. “¿Qué hacer con la basura?”. *Federalismo y Desarrollo*, num. 30, México, pp 33-42.
73. TRUJILLO, G. 2004. El comercio de los huevos de codorniz en Lima Metropolitana; estudio de caso. Tesis – UNALM.
74. VÁSQUEZ, R y BALLESTEROS, H. 2007. La cría de codornices.
75. VENTURA RAMIREZ, E. 2007. Parámetros de calidad en compost de cuatro niveles de estiércol de ovino. Tesis UNALM
76. VERASTEGUI, J. Y MATEO B. 1979. Producción de Gas a Partir de Desechos Orgánicos: Planta Piloto de Biogás a escala Familiar. Lima – Perú
77. VIZCARRA E. 2006. Ensayo comparativo del uso de alfalfa seca molida y urea como aditivos en la preparación de ensilaje de chala. Tesis UNALM – Fac. Agronomía. Perú
78. Youngfu, Y., Yibo, Q., Yunxuan, G., Hui, Z., Yuansheng, X., Chenyong, X., Guoyuan, F., Jienquan, X., Taiming, Z. y Gan, L. 1989. The biogas technology in China. Agricultural Publishing House. Beijing, p 20-54
79. ZEIKUS, G. 1981. “Microbial intermediary metabolism in anaerobic digestion” 2nd International Symposium on Anaerobic Digestion, Travemünde, Germany. Pp 23-36.
80. ZÚÑIGA, J. 1963. Estudio comparativo de rendimiento y de los caracteres fisiológicos de 2 líneas de maíz chala y 3 variedades de sorgo. Tesis UNALM. Lima – Perú.

x. ANEXOS

ANEXO 1

INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA



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



INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : MARISELA QUISPE
PROCEDENCIA : LIMA
MUESTRA DE : ESTIERCOL
REFERENCIA : H.R. 35466
FACTURA : 8828
FECHA : 15/05/12

Nº LAB	CLAVES	C %	N %	Hd %
355	Levante	44.83	5.60	22.85
356	Postura	28.67	6.89	59.02



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

ANEXO 2

INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR



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



SOLICITANTE : MARISELA QUISPE
PROCEDENCIA : LIMA
MUESTRA DE : CHALA DE MAÍZ
REFERENCIA : H.R. 35468
BOLETA : 8829
FECHA : 15/05/12

Nº LAB	CLAVES	C %	N %	Hd %
1870		52.08	0.81	15.96



Ing. Brailio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

ANEXO 3

INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS BIOLES



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : LINA PAUCAR MALPICA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHO - CHOSICA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 37584
BOLETA : 9337
FECHA : 17/10/12

Nº LAB	CLAVES	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
686	Biol 1	599.2	128.17	780.0
687	Biol 2	565.6	122.39	715.0
688	Biol 3	504.0	98.30	708.0
689	Biol 4	1075.2	290.83	924.0
690	Biol 5	991.2	276.38	936.0
691	Biol 6	1013.6	229.82	913.0



Braulio La Torre Martinez
Ing. Braulio La Torre Martinez
Jefe de Laboratorio

ANEXO 4

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Fotografía 1. Muestra de estiércol de Postura



Fotografía 2. Muestra de estiércol de Levante



Fotografía 3. Recojo de chala utilizada para hacer el compost



Fotografía 4. Armado de las pilas de pre-compost



Fotografía 5: Pilas de pre-compost armados y cubiertos



Fotografía 6. Primer volteo y aireación de las pilas de pre-compost



Fotografía 7. Cuarto volteo de pre-compost a cuatro semanas de ser armados



Fotografía 8. Purín de cerdo utilizado para llenar los biodigestores (Granja de cerdos UNALM)



Fotografía 9. Prueba de actividad metanogénica del purín de cerdo en laboratorio de Ingeniería Ambiental, UNALM



Fotografía 10. Secado del purín de cerdo para la prueba de actividad metanogénica



Fotografía 11. Secador utilizado para analizar la prueba de actividad metanogénica del purín de cerdo



Fotografía 12. Pesado en balanza electrónica para la prueba de actividad metanogénica



Fotografía 13. Prototipo de biodigestor armado sin contenido



Fotografía 14. Pre - compost utilizado en la biodigestión



Fotografía 15. Llenado de biodigestores



Fotografía 16. Vista de los 6 biodigestores



Fotografía 17. Material usado para medir el volumen de biogás generado



Fotografía 18. Medición del volumen de biogás producido



Fotografía 19. Agua desplazada en la medición de volumen de biogás producido

ANEXO 5

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CUANTIFICAR LA PRESENCIA DE ORGANISMOS PATOGENOS



INFORME DE ENSAYO N° 1490/12

Solicitante : LINA PAUCAR MALPICA
Dirección: Psje. Emilio Castelar Mz G1 Lt. 05 - San Juan de Lurigancho

Procedencia : Universidad Nacional Agraria La Molina
 Distrito: La Molina - Provincia: Lima - Distrito: La Molina

Matriz de la Muestra : Suelo

Fecha de Muestreo : 13 Octubre 2 012
Responsable del Muestreo : Lina Paucar – Solicitante

Fecha de Recepción : 13 Octubre 2 012
Fecha de ejecución del ensayo: 13 al 17 Octubre 2 012

Orden de Servicio: EQS-065/12

PARAMETROS	*S0287	*S0288	Expresado en:
	**L - 2	**P - 2	
<input type="checkbox"/> Coliformes Fecales (44,5 °C)	24 x 10 ²	>16 X 10 ⁸	NMP/30g

(*) Código del Laboratorio (**) Código del Solicitante

REFERENCIA DE METODOS ANALITICOS:-

- FERMENTACION DE TUBOS MULTIPLES* STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER, 21th, Edic. APHA AWWA, WEF 2005.
- MENDO R., M. 2003. PARASITOLOGIA CLINICA - METODO RITCHIE.

Lima, 17 de Octubre de 2 012.

EQUAS S.A.

Eusebio Victor Condor Evaristo
 Ing. Eusebio Victor Condor Evaristo
 Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

Código: F-1EN Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 07 Teléfono: 548-0180 Telefax: 548-3696 e_mail: equas_lab@infonegocia.net.pe
 Fecha: 15-01-2 011

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO N° 1164/12

Solicitante : LINA PAUCAR MALPICA
Dirección: Psje. Emilio Castelar Mz G1 Lt. 05 - San Juan de Lurigancho

Procedencia : Universidad Nacional Agraria La Molina
 Distrito: La Molina - Provincia: Lima - Distrito: La Molina

Matriz de la Muestra : Agua Residual

Fecha de Muestreo : 13 Octubre 2 012
 Responsable del Muestreo : Lina Paucar – Solicitante

Fecha de Recepción : 13 Octubre 2 012
 Fecha de ejecución del ensayo : 13 al 17 Octubre 2 012

Orden de Servicio: EQA-662/12

PARÁMETROS	*A2562	*A2563	Expresado en:	METODOS DE ENSAYO
	**L - 2	**P - 2		
Coliformes Fecales (44,5 °C)	54 x 10 ²	92 x 10	NMP/100 mL	APHA 9221 E

(*) Código de Laboratorio (**) Código del Solicitante

REFERENCIA DE METODOS ANALITICOS:-
 FERMENTACIÓN DE TUBOS MÚLTIPLES® STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER, 21th, Edic. APHA AWWA, WEF 2005.

ESTADO Y CONDICION DE LA MUESTRA:-
 Las muestras fueron recepcionadas en condiciones de conservación, cumpliendo con el control de calidad para ser analizadas.

Lima, 17 de Octubre de 2 012.

EQUAS S.A.

Eusebio
 Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
 Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
 Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F-IEN Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 07 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 15-01-2 011

Página 1 de 1

ANEXO 6

MANUAL DEL POTENCIÓMETRO

PH-009(III)
High Accuracy Pen Type pH Meter
(With Temperature Display)

Specifications

Range: 0.00-14.00pH 0°C~55°C
Resolution: 0.01pH 0.1°C
Accuracy: $\pm 0.1\text{pH}$ $\pm 1^\circ\text{C}$
Automatic Temperature Compensation: 5°C~50°C
Battery: 4 \times 1.5V(AG-13button cell)
Duration: 500hrs
Operating Temperature: 0°C~50°C(32°F~122°F)
Dimensions: 170 mm \times 36 mm \times 23mm
Weight: 91g

Operation

1. Remove the protective cap.
2. First rinse the electrode with distilled water, and suck it with filter paper.
3. Turn on pH by "ON-OFF" switch located on top of the battery case.
4. Immerse the pH meter electrode in solution up to the immersion level. Under no circumstances immerse above display level.
5. Stir gently and wait for the reading to stabilize.
6. After use, Switch off it. Use the distilled water clean the electrode and replace the protective cap.

pH Calibration

1. Immerse the electrode in pH 6.86 (under the temperature of 25°C) standard buffer solution of phosphate, and gently shake the electrode.
2. Regulate the trimmer with a screwdriver until the buffer solution value corresponding to the measurement temperature is obtained.
3. Immerse the electrode in pH 4.01 or pH 9.18 the standard buffer solution of borax.
4. After about one minute, until the buffer solution value corresponding to the measurement temperature is obtained.



ANEXO 7

CUADROS ANVA

pH

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.005	0.005	3.910	0.119
Error	4	0.005	0.001		
Total	5	0.010			

n.s.

cv = 0.506

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.002	0.002	0.400	0.561
Error	4	0.017	0.004		
Total	5	0.018			

n.s.

cv = 0.991

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.007	0.007	4.240	0.109
Error	4	0.007	0.002		
Total	5	0.014			

n.s.

cv = 0.626

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.001	0.001	0.980	0.378
Error	4	0.003	0.001		
Total	5	0.004			

n.s.

cv = 0.431

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.002	0.002	0.990	0.377
Error	4	0.010	0.002		
Total	5	0.012			

n.s.

cv = 0.730

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.0003	0.0003	0.090	0.774
Error	4	0.011	0.003		
Total	5	0.012			

n.s.

cv = 0.785

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.00002	0.00002	0.010	0.923
Error	4	0.006	0.002		
Total	5	0.006			

n.s.

cv = 0.581

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.00007	0.00007	0.010	0.937
Error	4	0.038	0.009		
Total	5	0.038			

n.s.

cv = 1.404

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.01307	0.01307	3.610	0.130
Error	4	0.014	0.004		
Total	5	0.028			

n.s.

cv = 0.884

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.038	0.0384	72.00	0.001
Error	4	0.002	0.0005		
Total	5	0.041			

**

cv = 0.334

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.089	0.09	87.36	0.0007 ***
Error	4	0.004	0.001		
Total	5	0.093			

cv =0.470

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.060	0.06	10.75	0.0306 *
Error	4	0.022	0.006		
Total	5	0.082			

cv =1.082

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.089	0.09	28.50	0.0059 n.s.
Error	4	0.012	0.003		
Total	5	0.101			

cv =0.793

TEMPERATURA

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.667	0.667	1.000	0.374
Error	4	2.667	0.667		
Total	5	3.333			

n.s.

cv = 1.108

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	4.167	4.167	6.250	0.067
Error	4	2.667	0.667		
Total	5	6.833			

n.s.

cv = 1.169

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	1.500	1.500	0.640	0.468
Error	4	9.333	2.333		
Total	5	10.833			

n.s.

cv = 1.867

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.000	0.000	.	.
Error	4	0.000	0.000		
Total	5	0.000			

n.s.

cv = 0

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.167	0.167	0.250	0.643
Error	4	2.667	0.667		
Total	5	2.833			

n.s.

cv = 1.180

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.667	0.6667	1.000	0.374
Error	4	2.667	0.667		
Total	5	3.333			

n.s.

cv = 1.038

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.00000	0.00000	.	.
Error	4	0.000	0.000		
Total	5	0.000			

n.s.

cv = 0

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	1.500	1.50000	4.500	0.101
Error	4	1.333	0.333		
Total	5	2.833			

n.s.

cv = 0.860

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	2.535	2.535	18.780	0.012
Error	4	0.540	0.135		
Total	5	3.075			

*

cv = 0.452

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	37.5000	37.5000	18.75	0.012
Error	4	8.0000	2.0000		
Total	5	45.500			

*

cv = 1.802

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.167	0.17	0.50	0.5185
Error	4	1.333	0.333		
Total	5	1.500			

n.s.

cv =0.807

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.667	0.67	4.00	0.1161
Error	4	0.667	0.167		
Total	5	1.333			

n.s.

cv =0.625

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	1.500	1.500	4.50	0.1012
Error	4	1.333	0.333		
Total	5	2.833			

n.s.

cv =0.860

METANO

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	3.527	3.527	4.740	0.095
Error	4	2.973	0.743		
Total	5	6.500			

n.s.

cv = 27.969

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	5.227	5.227	0.130	0.740
Error	4	165.387	41.347		
Total	5	170.613			

n.s.

cv = 15.024

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	130.667	130.667	6.270	0.067
Error	4	83.347	20.837		
Total	5	214.013			

n.s.

cv = 9.184

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.060	0.060	0.000	0.976
Error	4	234.973	58.743		
Total	5	235.033			

n.s.

cv = 8.675

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	100.042	100.042	4.650	0.097
Error	4	85.967	21.492		
Total	5	186.008			

n.s.

cv = 6.258

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	105.8400	105.8400	2.230	0.209
Error	4	189.613	47.403		
Total	5	295.453			

n.s.

cv = 12.204

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	5.607	5.6067	0.040	0.856
Error	4	599.847	149.962		
Total	5	605.453			

n.s.

cv = 17.066

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	16.667	16.667	0.120	0.746
Error	4	553.253	138.313		
Total	5	569.920			

n.s.

cv = 25.750

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	121.500	121.500	3.620	0.130
Error	4	134.213	33.553		
Total	5	255.713			

*

cv = 6.650

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	9.375	9.375	2.11	0.220
Error	4	17.813	4.453		
Total	5	27.188			

*

cv = 3.111

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	126.960	126.960	1.55	0.2814	n.s.
Error	4	328.093	82.023			
Total	5	455.053				

cv = 13.136

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	197.227	197.227	12.820	0.0232	*
Error	4	61.547	15.387			
Total	5	258.773				

cv = 13.595

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	39.527	39.527	0.180	0.694	n.s.
Error	4	883.873	220.968			
Total	5	923.400				

cv = 25.625

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	17.682	17.682	0.830	0.415
Error	4	85.527	21.382		
Total	5	103.208			

n.s.

cv = 31.373

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	161.202	161.202	3.450	0.137
Error	4	186.873	46.718		
Total	5	348.075			

n.s.

cv = 13.173

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	710.682	710.682	61.830	0.001
Error	4	45.973	11.493		
Total	5	756.655			

**

cv = 7.3128

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	96.802	96.802	3.300	0.144
Error	4	117.347	29.337		
Total	5	214.148			

n.s.

cv = 8.040

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	130.667	130.667	8.960	0.040
Error	4	58.347	14.587		
Total	5	189.013			

*

cv = 7.481

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	92.0417	92.0417	4.980	0.089
Error	4	73.927	18.482		
Total	5	165.968			

n.s.

cv = 10.263

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.107	0.1067	0.000	0.955
Error	4	118.127	29.532		
Total	5	118.233			

n.s.

cv = 10.806

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	184.815	184.815	28.950	0.006
Error	4	25.540	6.385		
Total	5	210.355			

**

cv = 5.466

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	4.002	4.002	0.410	0.557
Error	4	38.987	9.747		
Total	5	42.988			

n.s.

cv = 5.203

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	13.202	13.202	1.09	0.356
Error	4	48.647	12.162		
Total	5	61.848			

n.s.

cv = 6.933

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	103.335	103.335	4.09	0.1132	n.s.
Error	4	101.0933	25.273			
Total	5	204.428				

cv = 10.271

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	217.202	217.202	12.230	0.0250	*
Error	4	71.027	17.757			
Total	5	288.228				

cv = 14.173

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	65.340	65.340	0.930	0.389	n.s.
Error	4	280.720	70.180			
Total	5	346.060				

cv = 19.855

OXÍGENO (O₂)

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	4.682	4.682	0.510	0.513	n.s.
Error	4	36.507	9.127			
Total	5	41.188				

cv = 20.332

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	2.940	2.940	0.850	0.408	n.s.
Error	4	13.813	3.453			
Total	5	16.753				

cv = 19.736

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	24.000	24.000	19.380	0.012	**
Error	4	4.953	1.238			
Total	5	28.953				

cv = 11.119

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	5.415	5.415	1.040	0.365	n.s.
Error	4	20.800	5.200			
Total	5	26.215				

cv = 44.329

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	13.202	13.202	4.640	0.098	*
Error	4	11.387	2.847			
Total	5	24.588				

cv = 22.053

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	1.9267	1.9267	1.860	0.244
Error	4	4.133	1.033		
Total	5	6.060			

n.s.

cv = 8.323

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	4.167	4.1667	1.170	0.340
Error	4	14.233	3.558		
Total	5	18.400			

n.s.

cv = 25.967

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	4.167	4.167	2.250	0.208
Error	4	7.407	1.852		
Total	5	11.573			

**

cv = 12.443

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	5.607	5.607	1.550	0.281
Error	4	14.427	3.607		
Total	5	20.033			

n.s.

cv = 29.972

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	0.375	0.375	0.23	0.654
Error	4	6.433	1.608		
Total	5	6.808			

n.s.

cv = 11.132

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	2.535	2.535	0.92	0.3928
Error	4	11.0733	2.768		
Total	5	13.608			

n.s.

cv = 15.537

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	24.402	24.402	10.060	0.0338
Error	4	9.707	2.427		
Total	5	34.108			

*

cv = 9.967

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F
tratamiento	1	2.940	2.940	0.290	0.621
Error	4	40.953	10.238		
Total	5	43.893			

n.s.

cv = 31.222

OTROS GASES

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	15.042	15.042	2.070	0.224	n.s.
Error	4	29.127	7.282			
Total	5	44.168				

cv = 1.605

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	158.107	158.107	1.110	0.351	n.s.
Error	4	567.713	141.928			
Total	5	725.820				

cv = 12.708

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	1145.402	1145.402	22.940	0.009	**
Error	4	199.713	49.928			
Total	5	1345.115				

cv = 7.991

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	56.427	56.427	0.520	0.512	n.s.
Error	4	436.333	109.083			
Total	5	492.760				

cv = 27.091

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	306.735	306.735	6.260	0.067	n.s.
Error	4	196.053	49.013			
Total	5	502.788				

cv = 10.367

Variable dependiente: y15

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	252.2017	252.2017	1.910	0.239	n.s.
Error	4	528.953	132.238			
Total	5	781.155				

cv = 12.115

Variable dependiente: y16

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	0.0416667	0.0417	0.000	0.989	n.s.
Error	4	716.853	179.213			
Total	5	716.895				

cv = 17.679

Variable dependiente: y18

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	298.215	298.215	8.410	0.044	*
Error	4	141.773	35.443			
Total	5	439.988				

cv = 7.276

Variable dependiente: y19

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	18.027	18.027	0.410	0.559	n.s.
Error	4	177.973	44.493			
Total	5	196.000				

cv = 12.915

Variable dependiente: y21

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	0.540	0.540	0.02	0.892	n.s.
Error	4	104.113	26.028			
Total	5	104.653				

cv = 6.555

Variable dependiente: y22

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	342.015	342.015	2.48	0.1901	n.s.
Error	4	550.5533	137.638			
Total	5	892.568				

cv = 16.072

Variable dependiente: y23

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	530.160	530.160	11.860	0.0262	*
Error	4	178.780	44.695			
Total	5	708.940				

cv = 5.528

Variable dependiente: y24

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	152.007	152.007	0.420	0.553	n.s.
Error	4	1451.993	362.998			
Total	5	1604.000				

cv = 23.579

VOLUMEN DE BIOGÁS

Variable dependiente: y1

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	518380.827	518380.827	2.00	0.2307	n.s.
Error	4	1039250.053	259812.513			
Total	5	1557630.880				

cv = 12.68397

Variable dependiente: y2

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	135360.240	135360.240	0.21	0.6689	n.s.
Error	4	2550243.920	637560.980			
Total	5	2685604.160				

cv = 14.72548

Variable dependiente: y3

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	13202853.36	13202853.36	45.75	0.0025	**
Error	4	1154315.41	288578.85			
Total	5	14357168.77				

cv = 6.915729

Variable dependiente: y4

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	314737.607	314737.607	0.17	0.7004	n.s.
Error	4	7361833.467	1840458.367			
Total	5	7676571.073				

cv = 15.45524

Variable dependiente: y5

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	106506.727	106506.727	0.06	0.8240	n.s.
Error	4	7559490.187	1889872.547			
Total	5	7665996.913				

cv = 14.51608

Variable dependiente: y6

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	313730.667	313730.667	0.93	0.3902	n.s.
Error	4	1354203.493	338550.873			
Total	5	1667934.160				

cv = 6.088475

Variable dependiente: y7

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	237446.8267	237446.8267	3.05	0.1559	n.s.
Error	4	311810.1867	77952.5467			
Total	5	549257.0133				

cv = 3.244648

Variable dependiente: y8

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	1923268.167	1923268.167	1.85	0.2458	n.s.
Error	4	4166188.667	1041547.167			
Total	5	6089456.833				

cv = 10.00496

Variable dependiente: y9

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	1082560.327	1082560.327	2.20	0.2118	n.s.
Error	4	1964907.973	491226.993			
Total	5	3047468.300				

cv = 7.197255

Variable dependiente: y10

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	392397.227	392397.227	1.53	0.2836	n.s.
Error	4	1024818.373	256204.593			
Total	5	1417215.600				

cv = 5.564961

Variable dependiente: y11

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	160197.360	160197.360	0.08	0.7977	n.s.
Error	4	8543054.720	2135763.680			
Total	5	8703252.080				

cv = 15.60651

Variable dependiente: y12

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	5080.860	5080.860	0.01	0.9223	*
Error	4	1887069.333	471767.333			
Total	5	1892150.193				

cv = 11.30654

Variable dependiente: y13

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	199181.040	199181.040	0.7452	0.7452	n.s.
Error	4	6568456.213	1642114.053			
Total	5	6767637.253				

cv = 21.48114

NUTRIENTES

Variable dependiente: N

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	331914.240	331914.240	157.190	0.0002	**
Error	4	8446.293	2111.573			
Total	5	340360.533				

cv = 5.806

Variable dependiente: P

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	33476.058	33476.058	52.820	0.002	**
Error	4	2534.937	633.734			
Total	5	36010.995				

cv = 13.181

Variable dependiente: K

Fuente	GL	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr > F	
tratamiento	1	54150.000	54150.000	63.380	0.001	**
Error	4	3417.333	854.333			
Total	5	57567.333				

cv = 3.524