

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

***FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA***

***Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola***



***“PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE PURINES,  
COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL C. P.  
CHEN CHEN – MOQUEGUA”***

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

***WILSON JAVIER FLORES HERNÁNDEZ***

**PARA OPTAR EL TITULO DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**

**PUNO – PERÙ**

**2013**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

*Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola*

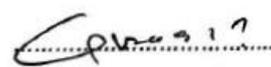
*“PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL C. P. CHEN CHEN – MOQUEGUA”*

**PRESENTADO POR:**

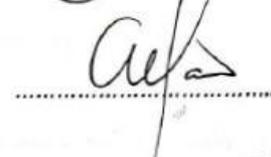
*WILSON JAVIER FLORES HERNÁNDEZ*

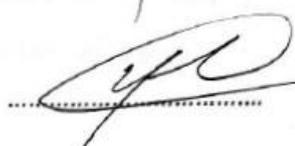
**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRICOLA**

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE** : *Dr. José J. VERA SANTAMARIA* 

**PRIMER MIEMBRO** : *Ing. Edilberto HUAQUISTO RAMOS* 

**SEGUNDO MIEMBRO** : *M. Ing. Roberto ALFARO ALEJO* 

**DIRECTOR DE TESIS** : *Ing. Edilberto VELARDE COAQUIRA* 

**ASESOR DE TESIS** : *Dr. Pablo César AGUILAR AGUILAR* 



**PUNO – PERÚ**

ÁREA : Ingeniería y Tecnología  
 TEMA: Otros temas relacionados  
 LÍNEA: Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

## DEDICATORIA

*A la persona que me dio la vida, al ver su esfuerzo y dedicación de madre, me impulsó a continuar mis estudios y concretar este segundo trabajo de investigación hasta poder culminarlo.*

*Gracias mamá*

*Isabel Corina*

*A ti, con quien comparto mi vida estos años, demostrándome capacidad y profesionalismo. Compartiendo a lo largo de este trabajo alegrías, tristezas, confianza y amor, brindándome siempre tu mano extendida. Con amor y cariño.*

*Muchas gracias.*

*Sonia Jiménez*

*A mis hermanos por su confianza que me han brindado estos años: Reynaldo David, Wilfredo Alan y Erick Glejser.*

*A mi pequeño Sneydder Moisés, quien es la razón de mi vida.*

*Y finalmente a todas las poblaciones rurales de nuestro país, que no cuentan con el servicio de energía eléctrica y / o combustibles de bajo costo, en especial a las poblaciones rurales de Moquegua.*

*Wilson Javier Flores*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano por haberme formado profesionalmente en sus claustros.

Al Ingeniero Edilberto Velarde Coaquira y al Dr. Pablo César Aguilar Aguilar por haberme dado el privilegio de contar con su dirección y asesoría profesional.

Al Dr. José Vera Santa María, Ing. Edilberto Huaquisto Ramos y al M. Sc. Ing. Roberto Alfaro Alejo, quienes fueron miembros del jurado revisor de tesis por la colaboraron en las diferentes actividades que requirió el trabajo de tesis.

Al Ing. German Belizario, por su orientación en la elaboración del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5

### CAPITULO II

#### 2. MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	
2.1.1. Sistemas de gestión ambiental	6
2.1.2. Residuos sólidos	7
2.1.3. Clasificación	7
2.1.4. Caracterización de los purines	9
2.1.5. Composición del purín	9
2.1.6. Uso y aplicación de los purines	10
2.1.7. Problemas medioambientales	11
2.1.8. Tratamientos aplicables a los purines	13
2.1.9. Biodigestor	14
2.1.10. Tipos de biodigestores	14
2.1.11. Biodigestores segunda generación	17
2.1.12. Selección de tipo de biodigestor	20
2.1.13. Esquema simplificado la instalación	21

2.1.14.	Características del estiércol	21
2.1.15.	Partes que componen el biodigestor	22
2.1.16.	Digestión anaeróbica	24
2.1.17.	Etapas de la digestión anaeróbica	25
2.1.18.	Factores influyentes en la digestión anaeróbica	28
2.1.19.	Ventajas y desventajas de los digestores anaeróbicos	30
2.1.20.	Factores relacionados con el diseño y operación de digestores	
2.1.21.	Características del biogás	33
2.1.22.	Utilización del biogás	35
2.1.23.	Uso del bioabono	35
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	36
2.3.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	42
2.3.1.	Hipótesis general	42
2.3.2.	Hipótesis específicos	42
<b>CAPITULO III</b>		
3.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.	
3.1.	IDENTIFICACIÓN	43
3.1.1.	Recopilación de información	43
3.1.2.	Área de proyecto	43
3.1.3.	Tipo de investigación	44
3.1.4.	Población y muestra	45
3.1.5.	Técnicas de recolección de información	46
3.1.6.	Procesamiento y análisis de información	46
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE PURÍN PRE Y POST PROCESO ANAERÓBICO	46
3.2.1.	Porcentaje de solidos totales.	46
3.2.2.	Control de temperatura y pH	47
3.2.3.	Cuantificación de biomasa	47
3.3.	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS GENERADO POR LOS PURINES	48
3.3.1.	Matriz de preselección de biodigestor	48

<b>3.3.2. Etapa de construcción</b>	49
3.3.2.1. Excavación	49
3.3.2.2. Construcción de cajas y tuberías de conducción.	50
3.3.2.3. Instalación de geomembrana	51
3.3.2.4. Construcción de medidores de volumen de biogás	52
3.3.2.5. Línea de conducción de biogás	54
3.3.2.6. Medición de cantidad de biogás	55
3.3.2.7. Diseño y análisis estadístico	56
<b>3.4. CONSUMO DE BIOGÁS</b>	58
3.4.1. <b>Calculo de consumo de biogás en relación al GLP</b>	58
3.4.2. <b>Calculo de consumo doméstico de biogás</b>	59
3.4.3. <b>Cálculos para diseño de biodigestor</b>	59

## CAPITULO IV

<b>4. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	61
<b>4.1. CARACTERÍSTICAS DE PURÍN PRE Y POST PROCESO ANAERÓBICO</b>	61
4.1.1. <b>Potencial de hidrogeno pH</b>	61
4.1.2. <b>Cenizas</b>	62
4.1.3. <b>Humedad</b>	63
4.1.4. <b>Alcalinidad</b>	63
4.1.5. <b>Solidos totales pre y post tratamiento</b>	64
4.1.6. <b>Solidos suspendidos pre y post tratamiento</b>	65
4.1.7. <b>Solidos volátiles pre y post tratamiento</b>	66
4.1.8. <b>Demanda biológica de oxigeno pre y post tratamiento</b>	67
4.1.9. <b>Nitrógeno pre y post tratamiento</b>	68
4.1.10. <b>Fosforo pre y post tratamiento</b>	69
4.1.11. <b>Potasio pre y post tratamiento</b>	70
4.1.12. <b>Control diario de pH</b>	71
4.1.13. <b>Control de temperatura</b>	75
<b>4.2. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS GENERADO POR LOS PURINES</b>	80
4.2.1. <b>Medición de biogás en volumen</b>	80

<b>4.2.2. Control de volumen de biogás en los tratamientos</b>	81
<b>4.2.3. Diseño de análisis estadístico</b>	88
<b>4.3. CONSUMO DE BIOGÁS</b>	89
<b>4.3.1. Pruebas de funcionamiento</b>	89
<b>4.3.2. Consumo de biogás con relación al GLP.</b>	90
<b>4.3.3. Calculo de consumo doméstico de biogás</b>	91
<b>4.3.4. Calculo de energía que consume y necesita la granja “Jayson”</b>	92
<b>4.3.5. Dimensionamiento del biodigestor en base a las necesidades de la granja “Jayson”</b>	93
<b>4.3.6. Dimensionamiento del biodigestor en base a la disponibilidad de materia prima en la granja “Jayson”</b>	96
<b>4.3.7. Análisis económico de la producción de biogás</b>	103
<b>Conclusiones</b>	106
<b>Recomendaciones</b>	107
<b>Bibliografía</b>	108

## INDICE DE TABLAS

TABLA 01. Valores y características del purín	22
TABLA 02. Relación entre el periodo de fermentación y la temperatura.	28
TABLA 03. Rangos de temperatura para la fermentación anaeróbica.	28
TABLA 04. pH óptimo en la producción de biogás	29
TABLA 05. Producción de gas por tipo de excretas	33
TABLA 06. Composición típica de biogás producido en la digestión anaeróbica.	33
TABLA 07. Porcentajes típicos de metano para diferentes materias primas	34
TABLA 08. Combustibles típicos y su poder calorífico	34
TABLA 09. Duración mínima de 1m <sup>3</sup> de biogás para diferentes artefactos	35
TABLA 10. Parámetros medidos durante la operación del sistema.	47
TABLA 11. Fórmulas de análisis de varianza.	58
TABLA 12. Determinación de pH.	61
TABLA 13. Determinación de cenizas	62
TABLA 14. Determinación de humedad	63

TABLA 15. Determinación de la alcalinidad	64
TABLA 16. Determinación de solidos totales	64
TABLA 17. Determinación de solidos suspendidos	65
TABLA 18. Determinación de solidos volátiles.	66
TABLA 19. Determinación de demanda biológica de oxigeno (DBO <sub>5</sub> )	67
TABLA 20. Determinación de nitrógeno	68
TABLA 21. Determinación de fosforo	69
TABLA 22. Determinación de potasio	70

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 01. Estructura sólida móvil diseño semiesférico.	16
FIGURA 02. Estructura sólida móvil diseño semiesferico.	16
FIGURA 03. Estructura sólida móvil diseño cilindro vertical	16
FIGURA 04. Biodigestor tipo balón.	17
FIGURA 05. Biodigestor de contacto anaeróbico.	18
FIGURA 06. Digestor UASB.	18
FIGURA 07. Biodigestion RALF.	19
FIGURA 08. Diagrama de instalación.	21
FIGURA 09. Proceso de investigación.	43
FIGURA 10. Elección del área del proyecto.	44
FIGURA 11. Recolección de muestra	45
FIGURA 12. Trazo de biodigestores.	49
FIGURA 13. Fosas para los biodigestores	49
FIGURA 14. Caja de ingreso al biodigestor.	50
FIGURA 15. Prueba hidráulica de los biodigestores.	51
FIGURA 16. Extendido de geomembrana	51
FIGURA 17. Instalación de acoples de salida de biogás.	52
FIGURA 18. Instalación de geomembrana en los biodigestores	52
FIGURA 19. Gasómetros para medir volumen de biogás.	53
FIGURA 20. Válvula de seguridad.	55
FIGURA 21. Gasómetro para medir volumen de biogás	56

FIGURA 22. Comparación de pH pre y post tratamiento	61
FIGURA 23. Determinación del % de cenizas en el purín	62
FIGURA 24. Determinación de la humedad en el purín	63
FIGURA 25. Determinación de la alcalinidad en el purín	64
FIGURA 26. Porcentaje de sólidos totales pre y post tratamiento.	65
FIGURA 27. Comparación de sólidos suspendidos pre y post tratamiento	66
FIGURA 28. Determinación de sólidos volátiles en el purín	67
FIGURA 29. Comparación de DBO5 pre y post tratamiento	68
FIGURA 30. Comparación de nitrógeno pre y post tratamiento	69
FIGURA 31. Comparación de fósforo pre y post tratamiento	70
FIGURA 32. Comparación de potasio pre y post tratamiento	70
FIGURA 33. Control de pH del T-1: R-1.	71
FIGURA 34. Control de pH del T-1: R-2.	72
FIGURA 36. Control de pH del T-2: R-1.	72
FIGURA 37. Control de pH del T-2: R-2.	73
FIGURA 38. Control de pH del T-2: R-3.	73
FIGURA 39. Control de pH del T-3: R-1	74
FIGURA 40. Control de pH del T-3: R-2	74
FIGURA 41. Control de pH del T-3: R-3	75
FIGURA 42. Control de temperatura del T-1: R-1.	75
FIGURA 43. Control de temperatura del T-1: R-2.	76
FIGURA 44. Control de temperatura del T-1: R-3	76
FIGURA 45. Control de temperatura del T-2: R-1.	77
FIGURA 46. Control de temperatura del T-2: R-2.	77
FIGURA 47. Control de temperatura del T-2: R-3.	78
FIGURA 48. Control de temperatura del T-3: R-1	78
FIGURA 49. Control de temperatura del T-3: R-2	79
FIGURA 50. Control de temperatura del T-3: R-3.	79
FIGURA 51. Medidores de volumen de biogás	81
FIGURA 52. Producción de biogás	81
FIGURA 53. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-1	82
FIGURA 54. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-2	82
FIGURA 55. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-3	83

FIGURA 56. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-2: R-1	84
FIGURA 57. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-2: R-2	84
FIGURA 58. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-2: R-3	85
FIGURA 59. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-3: R-1	86
FIGURA 60. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-3: R-2	86
FIGURA 61. Volumen de biogás por el tiempo de retención T-3: R-3	87
FIGURA 62. Prueba de funcionamiento de biogás	89
FIGURA 63. Recolección de biogás en el recipiente	90
FIGURA 64. Prueba de calentamiento del agua a 90°C	90

## ANEXOS

### ANEXO A: ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-1
ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-1
ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-2
ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-2
ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-3
ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-3

### ANEXO B: CONTROL DE PARAMETROS DE LOS TRATAMIENTOS

CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-1
CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-2
CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-3

### ANEXO C: ANALISIS DE VARIANZA

ANALISIS DE DATOS CON EL PAQUETE NCSS 2007
--

### ANEXO D: ANALISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO

PRESUPUESTO
METRADOS
ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

### ANEXO E: PLANO DE DISEÑO DE BIODIGESTOR

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en Moquegua, C.P. Chen Chen, Cerro Blanco, se sustenta el aprovechamiento de energías renovables a través del purín de origen pecuario, con una técnica convencional del biodigestor anaerobio.

La primera fase del proyecto tuvo como finalidad la determinación de las características físico-químicas para el aprovechamiento energético del biogás producido por la degradación de la materia orgánica en las concentraciones de  $DBO_5$  alcanzo de 85.10% a 87.09%, ST de 56.93% a 63.93% y SV 54.47% a 62.41%, esta variación dependió principalmente de la temperatura y el p H en los biodigestores.

En la segunda fase se implementó biodigestores anaerobios con capacidad de 300 litros, con medidores de biogás para cada biodigestor, con una carga de 150 litros de purín y 150 litros de agua a cada uno de los biodigestores. La medición en el sistema discontinuo se ha llegado a los resultados como sigue: T-1.100% Purín de porcino 22.99 lt biogás/lt purín, T-2. 80% purín de porcino + 20% purín de cuy 25.89 lt biogas/lt purín y T-3 90% purín de porcino + 10% estiércol de gallina 24.66 lt biogás/ lt purín, para lo cual se ha tomado el promedio de tres repeticiones para cada tratamiento. La producción de biogás está estrechamente relacionada con el comportamiento de la temperatura del biodigestor, disminuyendo la producción a medida que disminuye la temperatura en el invierno.

La producción de biogás para el consumo y satisfacer las necesidades adicionales es posible utilizando purines de origen pecuario generadas en las mismas, de esta manera podría sustituirse el consumo de Gas Licuado de Petróleo en la granja "Jayson".

## INTRODUCCION

El desarrollo de la actividad de las granjas pecuarias en Moquegua ha sido en estos últimos años una de las actividades agrícolas que ocupa un espacio de gran importancia en la producción y comercialización y en la generación de fuentes de trabajo para aquellos granjeros y agricultores que ven de ésta actividad una fuente de sustento económico para sus familias. El motivo del presente trabajo de tesis constituyó una búsqueda fuentes de energía con recursos locales, el aprovechamiento de residuos pecuarios para la obtención de energía renovable de bajo costo para los cientos de familias asentadas en el Sector Cerro Blanco y la zona rural moqueguana.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera:

**CAPITULO I** : Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación. En la cual se sustenta los motivos por los cuales se ha realizado la presente investigación, las investigaciones que anteceden y planteamiento de los objetivos a los cuales se ha llegado a concluir satisfactoriamente las hipótesis de la investigación.

**CAPITULO II** : Marco teórico, marco conceptual, trata principalmente el bosquejo bibliográfico del tema de investigación.

**CAPITULO III** : Método de investigación. En el mencionado capitulo se ha determinado los métodos de investigación utilizando materiales apropiados.

**CAPITULO IV** : Exposición y análisis de resultados. Se detallan los resultados a los que se ha llegado en el análisis pre y post proceso anaeróbico de los purines, así mismo la producción de biogás de cada tratamiento y repetición, al finalizar se realiza el consumo de biogás en comparación con el GLP.

El presente trabajo de tesis es un incentivo para trabajos de investigación y proyectos que impliquen el aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que sean sostenibles y contribuyan al aprovechamiento de energías renovables, sociales y económicas en las diferentes actividades productivas de la región y del país.

## **CAPITULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La situación de las granjas en Moquegua, presenta un panorama desolador por lo que al aspecto urbanístico, ambiental y de salud pública se refiere. Uno de los graves problemas es la inadecuada gestión de los residuos sólidos y líquidos, así mismo el desaprovechamiento de la biomasa.

Las condiciones de iluminación, ventilación y circulación están ausentes en la mayoría de las granjas, siendo estas condiciones las más generalizadas en la totalidad de las granjas. Las condiciones son precarias en gran parte de granjas construidas y de éstos, la mayoría presenta serias deficiencias para su habitabilidad, debido al problema económico en que viven cientos de familias asentadas en el Sector de Cerro Blanco, C. P. Chen Chen - Moquegua.

El presente trabajo de investigación responderá a las siguientes preguntas:

¿Las características físico químicas determinan los parámetros de eficiencia de producción de biogás?

¿Cuál de los tratamientos de los purines es más eficiente en la producción de biogás?

¿El biogás puede sustituir al Gas Licuado de Petróleo (GLP) en la zona del estudio?

## 1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Según Chiriboya (2010), en su tesis “Desarrollo de producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadora de fruta” - Quito, los estudios realizados en reactores batch muestran que la mezcla óptima de desecho de fruta con estiércol de vaca es de 4:1, la composición óptima de mezcla es de 1:1. Se determina en los reactores semi-continuos la carga orgánica óptima de 5 kg DQO/M<sup>3</sup> día, la cual genera la máxima producción específica de biogás por kilogramo de DQO removido con un valor de 0.19 M<sup>3</sup> Biogás/ Kg DQO removido.

Pérez (2010) “Estudio de biodigestores para pequeños ganaderos y lecheros” Santiago. Se utilizaron dos tratamientos con una repetición para cada tratamiento. Tratamiento A consistió de 50 kg de heces frescas más 37.5 L de agua; Tratamiento B consistió de 30 kg de heces frescas más 3.2 kg de pasto desecho de los comederos y 54.3 L de agua. Los resultados obtenidos demuestran que el uso de heces con pasto aumenta la producción de biogás, esta mezcla de heces + pasto produjo en promedio 1,614 L de biogás diariamente a diferencia del tratamiento que solo fue alimentado con heces, produjo en promedio 750.8 L de biogás diariamente. La degradación de la materia orgánica alcanzó un máximo del 82% y el mínimo el 46%, esta variación depende principalmente de la temperatura y el pH de los biodigestores.

Según Márquez (2005) “Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobio” - Temuco, los resultados obtenidos muestran que la digestión anaerobia logra depurar la materia orgánica de manera exitosa bajo condiciones mesofílicas 33°C, con un volumen de 450 ml/día para una carga de 10 litros de lodos.

Expósito (2004) “Modelización de procesos biológicos para la eliminación de residuos ganaderos” - Madrid, con la aplicación del sistema de tratamiento de depuración anaeróbica por fases en digestores de 7.5 litros, el punto óptimo

de funcionamiento corresponde a un caudal de 2.5 litros de purín de vacuno, con un TRH 24 días en el digestor metánico y 12 días en el ácido.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La implementación de biodigestores para la generación de biogás, se constituye en una solución integral, debido a que se obtiene una energía renovable, que trae como consecuencia el beneficio económico, así mismo permite el tratamiento de los desechos de tal manera que sean aprovechados como biofertilizantes, así mejorando las condiciones de los alojamientos y la calidad de vida de la población dedicada a la producción pecuaria.

La razón primordial de esta investigación es buscar el abastecimiento de energía, así mismo el nivel de manejo de residuos orgánicos en las granjas.

La población que se dedica a la crianza pecuaria en Cerro Blanco - Moquegua, se encuentran agrupados en 10 (diez) organizaciones de productores con un total de 281 familias.

El estudio de un sistema de energía renovable para la producción de biogás a partir de purín de origen pecuario para mejorar las condiciones de confort de los galpones y sustituir el consumo de Gas Licuado de Petróleo en las granjas del sector Cerro Blanco del Centro Poblado de Chen Chen – Moquegua.

El presente trabajo pretende dar una alternativa real para el comienzo de construcción de biodigestores en las granjas para contar con una energía renovable de bajo costo, utilizado como combustible en los requerimientos domésticos, iluminación y calefacción de los galpones de crianza.

## 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Generar biogás a través de la digestión anaeróbica de los purines de origen pecuario, como fuente de energía renovable en el sector de Cerro Blanco C. P. Chen Chen – Moquegua.

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización de los purines pre y post proceso de digestión anaeróbica a través de mediciones periódicas para la determinación de los parámetros de eficiencia de proceso de biodegradabilidad anaeróbica.
- Cuantificar la producción de biogás generado por los purines en tratamiento por el sistema de biodigestión anaeróbica semicontinuo.
- Evaluar el rendimiento y costo de producción del biogás para el consumo, en comparación con el Gas Licuado de Petróleo.

## CAPITULO II

### **2. MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.**

#### **2.1. MARCO TEÓRICO**

##### **2.1.1. LOS SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL (SGA) Y LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

La Ley 28611, en su Art. 13° de Gestión Ambiental, define la gestión ambiental como un proceso permanente y continuo, constituido por un conjunto estructurado de principios, normas técnicas, procesos y actividades, orientado a administrar los intereses, expectativas y recursos relacionados con los objetivos de la política ambiental y alcanzar así, una mejor calidad de vida y el desarrollo integral de la población, el desarrollo de las actividades económicas y la conservación del patrimonio ambiental y natural del país.

La misma ley en su Art. 17° de Gestión Ambiental, define que los instrumentos de gestión ambiental podrán ser de planificación, promoción, prevención, control, corrección, información, financiamiento, participación, fiscalización, entre otros, rigiéndose por sus normas legales respectivas y por sus principios. Como por ejemplo la evaluación del impacto ambiental; la certificación ambiental; estrategias, planes y programas de prevención, adecuación, control y remediación; los planes integrales de gestión de residuos; los instrumentos orientados a conservar los recursos naturales; entre otros.

Según Tchobanoglus (1998), la gestión integral de los residuos sólidos es la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales.

La Ley 28611, en su Art. 119° del manejo de los residuos sólidos, define la gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. La gestión de los residuos sólidos distintos a los señalados en el párrafo precedente son de responsabilidad del generador hasta su adecuada disposición final, bajo las condiciones de control y supervisión establecidas en la legislación vigente.

### 2.1.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Son residuos sólidos todas aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido 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 el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales (Ley 27314, Ley general de Residuos Sólidos).

Los residuos son originados por los organismos vivos, como desechos de las funciones que éstos realizan, por los fenómenos naturales derivados de los ciclos y por la acción directa del hombre, donde se encuentran los residuos más peligrosos para el medio ambiente pues muchos de ellos tienen un efecto negativo y prolongado en el entorno, lo cual viene dado en muchos casos por la propia naturaleza físico-química de los desechos (Fernández y Sánchez, 2007).

### 2.1.3. CLASIFICACIÓN

La Ley N°27314, Ley general de Residuos sólidos, asume una clasificación según su origen, por ello señala la siguiente clasificación:

- a) Residuo domiciliario
- b) Residuo comercial
- c) Residuo de limpieza de espacios públicos
- d) Residuo de establecimiento de atención de salud
- e) Residuo industrial

- f) Residuo de las actividades de construcción
- g) Residuo agropecuario
- h) Residuo de instalaciones o actividades especiales.

Los residuos sólidos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, en dependencia de la importancia que revisten la utilidad, la peligrosidad, fuente de producción, posibilidades de tratamiento, tipo de materiales, entre otros (Fernández y Sánchez, 2007) (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los residuos sólidos

Por su composición química	Orgánicos	De origen biológico, el agua constituye su principal componente y están formados por los residuos y los desechos de origen alimenticio, estiércol y/o animales pequeños muertos. Estos productos, todos putrescibles, originan, durante el proceso de fermentación, malos olores y representan una fuente importante de atracción para los vectores.
	Inorgánicos	Que no pueden ser degradados o desdoblados naturalmente o bien si esto es posible sufren una descomposición demasiado lenta. Estos residuos provienen de minerales y productos sintéticos, por ejemplo: metales, plásticos, vidrios, cristales, cartones plastificados, pilas, etc.
Por su utilidad económica	Reciclables	Reutilizados como materia prima al incorporarlos a los procesos productivos.
	No reciclables	Por su característica o por la no-disponibilidad de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar.
Por su origen	Domiciliarios	Procedentes de residencias, albergues, hoteles, como residuos de cocina, restos de alimentos, embalajes, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todo tipo, textiles, goma, cuero, madera, restos de jardín, vidrios, cerámica, latas, aluminio, metales férreos, suciedad y cenizas. Son los artículos voluminosos, electrodomésticos de consumo, productos de línea blanca, baterías, aceites y neumáticos.
	Comerciales	Generados por las actividades comerciales y del sector de servicios, residuos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todo tipo, textiles, goma, cuero, madera, restos de jardín, vidrios, cerámica, latas, aluminio, metales férreos y suciedad.
	Constructivos	Originados por las construcciones, las remodelaciones, las excavaciones u otro tipo de actividad destinada a estos fines, los residuos de madera, acero, hormigón, suciedad, escombros.
	Industriales	Residuos de procesos industriales, son muy variados en dependencia del tipo de industria, pueden ser metalúrgicos, químicos, entre otros; y se pueden presentar en diversas formas como cenizas, lodos, materiales de chatarra plásticos y restos de minerales originales.

	Hospitalarios	Generados en centros de salud, generalmente contienen vectores patógenos de difícil control. El manejo de estos residuos debe ser muy controlado y va desde la clasificación de los mismos, hasta la disposición final de las cenizas pasando por el adecuado manejo de los incineradores y el correcto traslado de los residuos seleccionados.
	Agrícolas	Por lo variado de su composición pueden ser clasificados como orgánicos o inorgánicos, puesto que mayormente son de origen animal o vegetal y son el resultado de la actividad agrícola. En este grupo se incluyen los restos de fertilizantes inorgánicos que se utilizan para los cultivos.
Por el riesgo	Peligrosos	Residuos o combinaciones de residuos que representan una amenaza sustancial, presente o potencial a la salud pública o a los organismos vivos.
	Inertes	Generados en nuestra ciudad, como pueden ser tierras, escombros, etc., también denominados residuos de construcción y demolición.
	No inertes	Características tales como inflamabilidad, corrosividad, reactividad, y toxicidad

Fuente: Fernández y Sánchez – 2007.

#### 2.1.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PURINES

En esencia los Purines son excrementos de animales diluidos en agua que se emplean para realizar la limpieza de los galpones. Los excrementos se barren, se recogen o se arrastran con agua para almacenarlos en grandes balsas o depósitos donde se guardan hasta que son usados, o bien hasta que su limitada capacidad de almacenamiento hace indispensable vaciarlos (Simpson, 1986).

#### 2.1.5. COMPOSICION DEL PURIN

Los purines tienen mayores porcentajes de potasio y nitrógeno y en menores valores a calcio, fósforo y magnesio, sin embargo la composición del purín es muy variable, ya que depende de muchos factores que están directamente relacionados con la cantidad de estiércol producido y de su composición. Estos factores son la clase y edad del animal, el tipo y cantidad de alimento consumido, el volumen de agua, el trabajo efectuado por el animal, entre otros (Millar, 1975).

Una vaca lechera de buen nivel productivo entre 28 - 30 L/día, genera unos 40-60 kilos/día de estiércol, por lo tanto la cantidad de purines al agregar el agua necesaria para lavar se puede estimar considerando una relación de 1:1. Esto

significa doblar el volumen total de estiércol generado por el animal (Pedraza, 2002).

El purín contiene valiosos nutrientes, que es posible proporcionar a las plantas cuando es incorporado al suelo. Según Thomson & Troeh (1998) los principales elementos que definen al purín son:  $\text{DBO}_5$ , Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

Del total de nutrientes contenidos en los purines, hay una fracción que es asimilable inmediatamente por las plantas, y otra que debe sufrir una descomposición para llegar a ser disponible en forma inorgánica. El nitrógeno de los purines existe en formas de nitrógeno orgánico, amoniacal, como nitritos y nitratos.

#### 2.1.6. USO Y APLICACIÓN DE LOS PURINES

Los grandes volúmenes de purines diluidos (estiércol + orina + agua) pueden ser reutilizados dentro del predio como fuentes de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y agua, para la fertilización de los cultivos y praderas que constituyen la base forrajera en la alimentación del rebaño, (Pedraza,2002). Los purines deberían ser utilizados principalmente en cultivos para ensilajes, como maíz, cebada, remolachas forrajeras, etc. Estos cultivos realizan una gran extracción de nutrientes que no son devueltos por los animales en pastoreo y es necesario compensarlo a través de la fertilización o aplicación de purines (Dumont, 1998). Según Thompson & Troeh (1998), la liberación de estos nutrientes ocurre con mayor rapidez cuando el suelo proporciona condiciones de calor y humedad adecuadas para la descomposición microbiana. Por ello su aplicación al suelo es más efectiva en épocas calurosas y sobre cultivos exigentes de nitrógeno y potasio.

##### Nitrógeno en purines

En los purines, el nitrógeno puede estar presente en múltiples formas, y son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los procesos de tratamiento. Estas transformaciones permiten convertir el nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables del purín residual. Los dos mecanismos principales que intervienen en este proceso son la asimilación y la nitrificación – desnitrificación. Debido a que el nitrógeno es un nutriente, los microbios

presentes en los procesos de tratamiento tenderán a asimilar el nitrógeno amoniacal y a incorporarlo a su masa celular. Una parte del nitrógeno amoniacal retornara al agua residual con la lisis y muerte de las células. En el proceso de nitrificación – desnitrificación, la eliminación de nitrógeno se consigue con dos etapas de conversión. En la primera, la nitrificación, se reduce la demanda de oxígeno del amoniaco mediante su conversión a nitrato. No obstante, en este paso, el nitrógeno apenas ha cambiado de forma y no se ha eliminado. En el segundo paso, la desnitrificación, el nitrato se convierte en producto gaseoso que es eliminado (Metcalf y Eddy, 1998).

#### Fósforo en purines

El fósforo del purín proporciona una disponibilidad de este elemento mayor que el proveniente de fertilizantes minerales, pero gran parte del valor del estiércol se pierde rápidamente por descomposición y lavado, por ello es necesario aprovechar en gran medida la cantidad de nutrientes que posee como un subproducto utilizado en la agricultura.

#### 2.1.7. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES Y SANITARIOS ASOCIADO A LOS PURINES

Dumontt (2000), señala que el mal manejo de purines es actualmente uno de los procesos de la actividad agropecuaria que provoca mayor deterioro ambiental. Los purines por sus características físicas, químicas y biológicas, son potencialmente contaminantes afectando a los cursos de agua subterránea o superficial, aire y suelo; provocando turbidez, sedimentación, aumento de concentraciones de nutrientes, demanda biológica de oxígeno (DBO) y crecimiento excesivo de algas (Gutiérrez y Jara, 2003).

El aporte de residuos orgánicos sin compostar produce un incremento de nitrógeno en los suelos que lo reciben, este nitrógeno si se esparce en el campo sin haberse transformado anteriormente, sufre un proceso de mineralización bastante lento, por lo que solo una parte va a ser utilizable de manera inmediata y el resto al cabo de bastante tiempo (puede llegar a superar el año). De esta manera no todo el nitrógeno aportado a los suelos es extraíble por los cultivos, ya que importantes cantidades quedan en los suelos, y en ciertos estas casos pueden infiltrarse o quedar en los suelos para su posterior nitrificación.

El nitrógeno es uno de los elementos más dinámicos que se conocen, debido a su rápida transformación química y bioquímica en el suelo debido a factores como la temperatura y el oxígeno, los cuales facilitan la reacción de oxidación. Urquiaga & Zapata (2000) señalan que el fenómeno de la contaminación por nitratos se produce primero por una acumulación de este en el suelo, y luego tras su lixiviación por precipitaciones y el riego puede alcanzar las aguas subterráneas pudiendo causar daños al medio ambiente y a la salud del hombre. Altas concentraciones de nitratos en aguas de bebida, ocasionan la enfermedad conocida como niños azules, llamada así por manifestarse con mayor frecuencia en niños de corta edad, generalmente en menores de 6 meses, ya que no han desarrollado completamente su tracto digestivo. Debido a esta enfermedad la hemoglobina de la sangre disminuye debido al aumento de la metahemoglobina, lo que causa disturbios en el transporte de oxígeno por la sangre (Urquiaga y Zapata, 2000).

Otro gran problema de los purines es que experimentan una serie de fermentaciones anaeróbicas con desprendimiento de gases tóxicos y de malos olores, lo que da lugar a problemas de tipo sanitario en el interior de los alojamientos, y a problemas de contaminación en el exterior. De los gases desprendidos por el estiércol fluido, algunos son más ligeros que el aire y se evacúan mediante una buena ventilación, mientras que otros son más pesados y quedan sobre la masa semifluida del canal, pudiendo ocasionar trastornos a los animales que permanecen acostados. La concentración de gases tóxicos es muy alta cuando se remueve el estiércol fluido. Un defecto muy frecuente en los alojamientos de ganado es la deficiente ventilación. En tiempos de frío, el ganadero, con un criterio equivocado, cierra las ventanas y chimeneas de admisión y salida de aire (Fuentes, 1992). Como consecuencia de la deficiente ventilación, la atmósfera se satura de humedad y de gases tóxicos, que favorecen el desarrollo de las infecciones respiratorias. A su vez, las formas gaseosas de nitrógeno como amoníaco, producto de la volatilización y los óxidos gaseosos, como  $N_2O$  y  $NO$  producidos por desnitrificación contribuyen al efecto invernadero y cambios climáticos.

### 2.1.8. TRATAMIENTO APLICABLES A LOS PURINES

Los purines pueden considerarse de manera similar al agua residual doméstica, con una carga orgánica (DBO) de 15 a 80 veces mayor y alta generación de lodos, donde el tratamiento y eliminación de los residuos animales es más complicado por su naturaleza y por los grandes volúmenes en son generados.

Para el tratamiento de los purines es posible utilizar tanto los sistemas anaerobios como aerobios, sin embargo, según Lusk (2002) el aumento de la materia orgánica no permite mantener las condiciones aeróbicas durante las épocas de invierno, lo que implica al menos seis a ocho semanas para estabilizar los sistemas aeróbicos durante la primavera, tiempo durante el cual la generación de olores es un problema significativo, que es casi imposible de eliminar.

El purín por si solo o mezclado con agua durante la limpieza de los alojamientos generalmente se encuentra con una concentración demasiado alta para ser descompuesto aeróbicamente en una estructura de tratamiento o almacenamiento de estiércol, debido a que el oxígeno no se puede disolver lo suficientemente rápido para soportar las bacterias aeróbicas. Por lo tanto, el estiércol se descompone secuencialmente en grupos de bacterias anaeróbicas (Vives, 2003).

Además Loehr (1965) también establece que el tratamiento y eliminación de los residuos orgánicos animales (ganado) es complicado por su naturaleza y por el volumen a manejar. Sin embargo observo que el tratamiento anaerobio por lagunaje ofrece una posibilidad para tratar grandes cantidades de purines que se originan en las estabulaciones del ganado en terrenos cerrados. Además Loehr informó en 1974 que cuando las concentraciones de componentes orgánicos exceden de 4000 mg/L en lo que se refiere a la Demanda Química de oxígeno, los métodos anaerobios son más baratos que los métodos aerobios. En este ámbito Kiely, (1999) reafirma lo planteado por los Lusk (2002), Vives, (2003), y Loehr, (1965), establecen que para el tratamiento de residuos agrícolas ganadero el uso de sistemas anaerobios, sobre todo el de digestión son los procesos unitarios que más han contribuido a la reducción de la contaminación agrícola.

A continuación se describe los sistemas de tratamiento de purines, que serán diseñados y evaluados durante el desarrollo del proyecto, estos sistemas permitirán además su almacenamiento durante largos periodos de tiempo según su diseño, estos son: digestión anaerobia de mezcla completa, lagunas anaeróbicas y lagunas anaeróbicas con cubierta flotante.

#### 2.1.9. BIODIGESTOR

Es un depósito completamente hermético. En donde se depositan las excretas de animales y residuos orgánicos, las cuales se fermentan mediante un proceso anaeróbico o sea sin la presencia del aire. Como resultado de este proceso se genera gas metano y un líquido sobrante con excelentes características para utilizarse como un biofertilizante

#### 2.1.10. TIPOS DE BIODIGESTORES

##### **Según Método de Carga**

Los Biodigestores se pueden clasificar, de acuerdo al método de carga en dos tipos:

- Discontinuas o de Batch
- Continuas

Biodigestor tipo Batch.

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

##### **Biodigestor Tipo Continuo**

En este tipo de biodigestor, se agrega material continuamente y el efluente se descarga en la misma cantidad en que se ingresa material. El proceso se

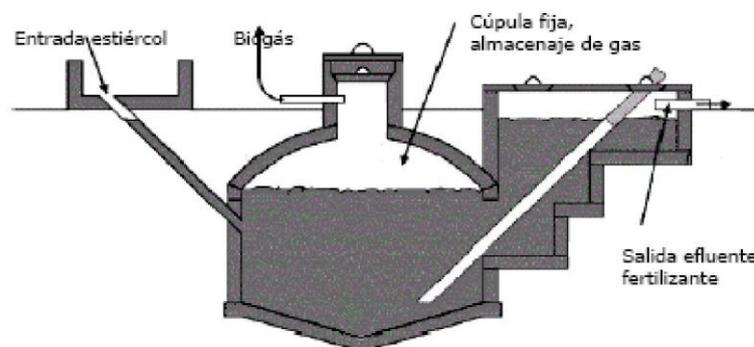
caracteriza por una fermentación constante, una producción uniforme de gas, facilidad y control, se aplica en zonas en donde el material residual es abundante. (Cofre, 2001)

**Según Método de Construcción (UPME, 2003)**

### **Biodigestor de Estructura Sólida Fija**

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

FIGURA 01. Biodigestor de estructura sólida.



Fuente: (UPME, 1996)

### **Biodigestor de Estructura Sólida Móvil**

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

FIGURA 02. Estructura Sólida Móvil  
Diseño Semiesférico.

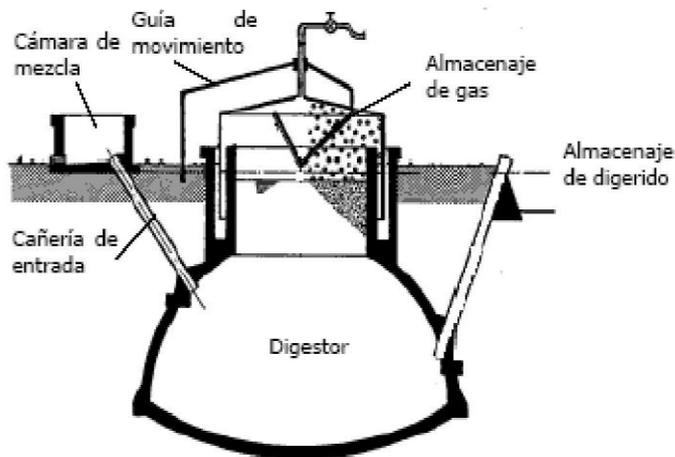
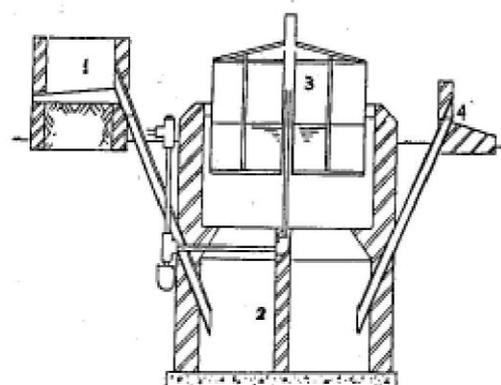


FIGURA 03 Estructura Sólida Móvil  
Diseño Cilindro Vertical

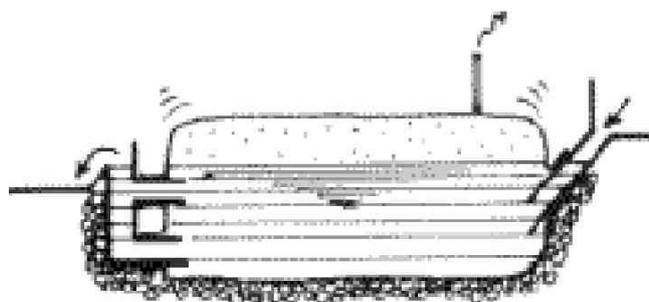


Fuente: INTA

**Biodigestor de Balón de Plástico**

Este tipo biodigestor consta de una bolsa situada en la parte superior del digestor y es en donde se almacena el gas. La presión del gas se logra básicamente por la elasticidad del globo o adicionando pesos sobre el globo. El material para del globo debe ser elegido con mucho cuidado ya que debe ser resistente a los rayos ultravioletas y a la intemperie. Este tipo de biodigestor es bastante común en zonas donde predominan las altas temperaturas, debido a su bajo costo de construcción. (COFRE, 2001)

FIGURA 04. Biodigestor tipo balón.



Fuente: INTA

### 2.1.11. BIODIGESTORES DE SEGUNDA GENERACION

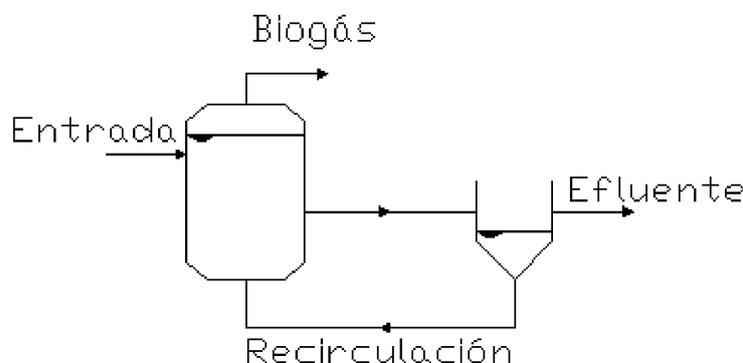
Diseños que han buscado algún medio para retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes de digestor para tratar la misma cantidad de biomasa.

En esta clasificación se encuentran:

- a) Digestor de contacto anaeróbico
- b) Digestor UASB
- c) Digestor o filtro RALF

#### a) Digestor de contacto anaeróbico

FIGURA 05. Biodigestor de contacto anaeróbico.

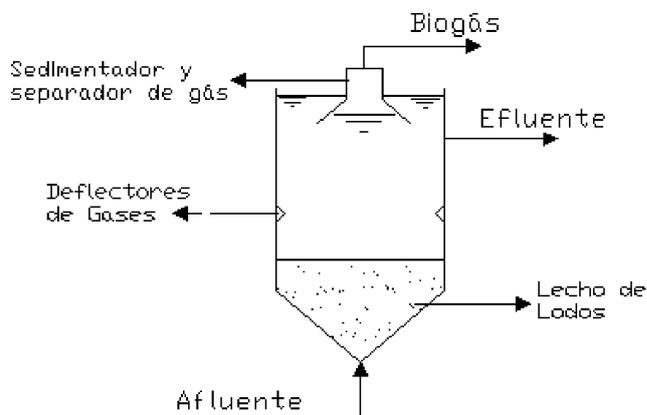


En estos digestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga como inóculo.

#### B) Digestor UASB

El digestor de flujo ascendente con manto de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), se caracteriza por retener biomasa sin un medio de soporte, gracias a la formación de gránulos y su sedimentación, por lo que se debe mantener la recirculación al mínimo.

FIGURA 06. Digestor UASB



Fuente: Montalbo, 2003

## C) Filtro RALF

Este filtro consiste en pasar la carga antes del biodigestor a través de un lecho de materiales inertes, también conocidos como material de soporte (piedra, medio plástico, cerámica, etc.), promoviendo el crecimiento de microorganismos productores de biogás:

- Como un biopelícula adherida al material de soporte.
- Como biomasa dispersa atrapada en los intersticios del material de soporte.
- Como flóculos o gránulos retenidos en el fondo falso del filtro.

De acuerdo al tipo de alimentación, los RALF pueden ser de flujo, ver Fig. 6.3 N°3: a) ascendente, b) descendente o c) longitudinal.

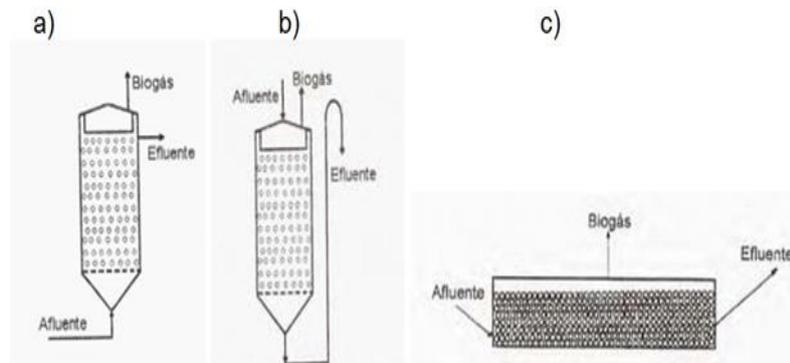


FIGURA 07. Biodigestion RALF

Estos filtros proporcionan los siguientes beneficios:

- Capacidad de trabajo eficiente a altas cargas orgánicas.
- Elevada capacidad para aceptar cambios repentinos de carga orgánica.
- Puede trabajar de manera eficiente a pH relativamente bajo y en presencia de sustancias tóxicas.

Con esta etapa primera etapa de filtro anaeróbico nos aseguramos que todo el lodo de descarga en la segunda etapa (digestor) va a estar en algún grado digerido.

### 2.1.12. SELECCIÓN DE TIPO DE BIODIGESTOR

Como se ha visto anteriormente, existe una muy variada gama de diseños de biodigestores, se ha decidido optar por una estructura sólida fija, de forma cilíndrica y vertical, con una etapa de preparación de la mezcla con filtro RALF, de flujo descendente, ambos semi enterrados.

- Se selecciona diseño de estructura cilíndrica fija, por las siguientes ventajas:
  - a) buena resistencia a las presiones. Con una carga axial simétrica, la mayor parte de digestor se encuentra expuesto a compresión, por lo que pueden utilizarse materiales sin una alta resistencia a la tensión cortante, como en este caso hormigón armado.
  - b) En comparación al modelo de digestor con campana móvil, el fijo no posee partes móviles por lo que demanda menores gastos de mantención.  
Menor complejidad constructiva que el modelo semi esférico.
- En cuanto a la posición respecto a la superficie terrestre se construirá semienterrado, debido a las siguientes razones:
  - a) La presión lateral del suelo fuera del digestor es favorable a las fuerzas que actúan dentro, con lo que se puede reducir el espesor de la pared.
  - b) En cuanto a la temperatura y la humedad son muchos más estables bajo tierra que en la superficie, con lo que se evitan las tensiones internas a causa de las diferencias de temperatura. Lo que reduce las posibilidades de fisuras por fatiga de material.  
Se puede aprovechar el mismo suelo como superficie de moldaje, para la construcción de las paredes del digestor

## 2.1.13. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA INSTALACION.

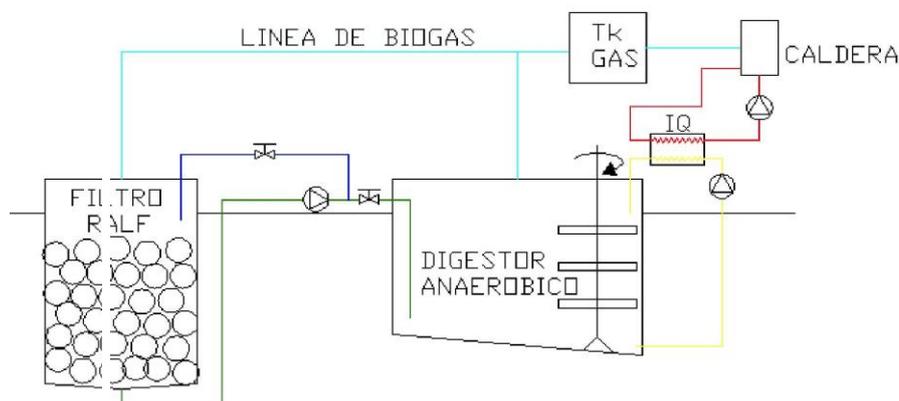


FIGURA 08. Diagrama de Instalación.

## 2.1.14. CARACTERIZACION DEL ESTIERCOL

La mayor parte de los digestores utilizan como material de fermentación el estiércol, y especialmente el de vacuno ya que contiene una gran cantidad de bacterias metanogénicas, siendo un material muy apropiado para la digestión anaeróbica.

La cantidad y características de estas excretas dependen:

La cantidad de forraje ingerido y la digestibilidad, por ejemplo los vacunos excretan casi un tercio de las fibras de forraje.

La calidad del forraje y el peso medio de los animales.

Una vaca lechera de buen nivel productivo entre 28 - 30 L/día, genera unos 40-60 kilos/día de estiércol (Biava, 1988).

Sin embargo es difícil dar valores medios de la producción de excretas, la forma más precisa es calcularla en base a la masa de los animales, según lo anterior la tabla siguiente muestra la forma de obtener la cantidad de estiércol, además contiene los porcentajes de Sólidos Totales (%ST) y Sólidos Volátiles (%SV):

Tabla 1. Valores y Características del purin

Clase de animal	% por peso vivo:		% del material de digestión		Relación C/N	P - Producción de biogas (m <sup>3</sup> de gas / 1 kg S/O)
	PE - Estiércol	PO - Orina	% EST Sólidos	% S/O Sólidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0.250
Cerdos	2	3	16	12	13	0.350
Caprinos, ovejas	3	1.5	30	20	30	0.200
Caballos	5	4	25	15	20	0.250
Avitcolas, gallinas	4.5	4.5	25	17	5-6	0.400
Humanos	1	2	20	15	8	0.300

Fuente: GTZ, 2007

### 2.1.15. PARTES QUE COMPONEN EL BIODIGESTOR TUBULAR

- **LA FOSA:** Un hueco en la tierra con paredes longitudinales con un talud de 10%, para evitar el derrumbamiento de las paredes y una pendiente mínima del 0.5% a lo largo del piso que permita el flujo diario del líquido por gravedad. La fosa del Biodigestor debe excavarse en suelo firme, de manera que sus paredes no se derrumben y no queden rocas o piedras cortopunzantes o raíces salientes, pues estas pueden romper la bolsa.
- **BOLSA:** El tubular de polietileno calibre 8, protegido con resina contra luz ultravioleta (LUV), se extiende sobre un piso seco, firme, sin piedras u objetos que pudieran romperlo; luego se dobla a la mitad y se corta en dos tubulares de 12 m de longitud cada uno y en cada extremo (del corte hacia el centro) se dibuja con un marcador una línea de 1 m de longitud, que sirve de guía para amarrar los tubos que salen de las cajas de entrada y salida. Un tubular o bolsa de polietileno se introduce en la otra, emparejando los tubulares sin que queden arrugas o pliegues entre ellos.  
Centrado sobre el dobléz en que se trazaron las dos líneas de 1 m y a la mitad de la longitud del tubular, se hace una ranura de 1.9 cm (que perfora las dos capas del plástico), desde la parte interna de los tubulares.
- **SALIDA DEL BIOGÁS:** Por la ranura se introduce el extremo roscado de un conector macho de PVC de 2.54 cm de diámetro, en el que previamente se coloca una arandela acrílica de 19 cm de diámetro con un empaque de las

bolsas. Una vez salida la rosca al exterior de los tubulares, se le inserta el otro empaque con la arandela acrílica, luego se procede a enroscar la hembra sobre la rosca del macho de PVC de 2.54 cm, dándole el mayor ajuste manual posible.

- CAJAS DE ENTRADA Y SALIDA: Deben construirse dos cajas en bloques de cemento o ladrillo, las cuales cumplen las funciones de entrada del estiércol y salida del líquido tratado, resultante del proceso. Las cajas cumplen la función de regular el nivel del líquido que se debe mantenerse dentro del Biodigestor.

- TUBOS CONDUCTORES DE BIOGAS: la conducción del gas se lleva desde el biodigestor hasta el sitio donde se colocarán los fogones. La conducción del biogás generalmente se hace con materiales de pvc. Sin embargo, en los extremos donde se colocan los fogones o calentadores se incorpora una llave de bronce a la que se le acoplará un tubo galvanizado para que funcione como fogón.

La conducción para el consumo puede hacerse en manguera de polietileno de 1 1/2 pulgadas de diámetro para biodigestores grandes y de 1 pulgada para biodigestores familiares. Es recomendable usar Agrotubo que posee un recubrimiento interno con poca rugosidad lo que permite el paso más fácil del gas porque existe menos roce. La manguera de conducción de gas hacia el sitio de utilización no debe ser enterrada con el fin de evitar la condensación y humedad interna, además deben evitarse las ondulaciones, pues esto puede permitir la acumulación de agua evitando la salida del biogás. En caso de que se tenga una conducción con longitudes mayores a 100 m es recomendable usar manguera de mayor diámetro y utilizar bolsas de reservorio.

- VÁLVULA DE SEGURIDAD: Con tubería de PVC de 1" (pulgada) se hace una "T", en un extremo de esta se acopla la manguera que viene del biodigestor y en el otro lado se coloca provisionalmente un tapón. Esta válvula debe ir cerca al biodigestor en la conducción de gas que sale de

este, su función es formar un sello de agua que permita la salida del biogás en condiciones normales, pero que a su vez deje escapar el exceso de presión evitando la ruptura del plástico o la bolsa. Se hace una "T" con tubería de PVC de 1" pulgada, se acoplan los nipples de PVC de 20 cm a los lados del nipple de 30 cm hacia abajo. Después se introduce el nipple de mayor longitud en el envase plástico y 5 a 6 cm por encima del extremo de este tubo se hacen unos agujeros en este recipiente para controlar el nivel del agua, cuyo nivel debe mantenerse en la mitad, incluso bajo la lluvia. Luego se llena el envase con agua hasta los agujeros y se procede a asegurarse el tubo con la ayuda de un poste, soporte o amarrándolo a la misma manguera de conducción, la cual debe ser de un diámetro que entre en el recipiente plástico con agua.

- QUEMADOR DEL FOGÓN: El gas puede ser utilizado para calentar los cerdos recién nacidos o de corta edad, a través de calentadores.

#### 2.1.16. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

El proceso unitario de tratamiento de digestión anaerobia se emplea en todo el mundo para la depuración de aguas residuales y fangos procedentes de la industria, la agricultura y de origen urbano (Kiely, 1999).

Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad y variedad de como desechos residuos vegetales, estiércol, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industria químicas, en subproductos útiles.

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio (Muñoz, 1987). La digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados, para el tratamiento de purines, en el que la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano y Dióxido de carbono (biogás), (Metcalf y Eddy, 1998).

Además de esta corriente gaseosa, se produce también una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), en los que se encuentran los

componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno y el fósforo y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg, etc).

El gas producido puede ser recogido y utilizado como combustible. El fango final estabilizado, que se extrae no es putrescible, y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente. Este proceso biológico natural, es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores).

Generalmente después del digestor anaerobio se incorpora una laguna de almacenamiento, en la cual se acumula el efluente tratado en el digestor (Vives, 2003).

La permanencia de las aguas en la laguna de almacenamiento proporciona un tratamiento adicional al purín, debido a que en ella disminuye el contenido de nitrógeno y otros nutrientes de la aguas. Se debe descartar que el efluente proveniente del digestor, posea una carga orgánica muy baja, lo que implica que la laguna deja de tener actividad microbiana de descomposición o es escasa, con lo que los sólidos que salen del digestor solo tienden a decantar.

#### 2.1.17. ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La materia orgánica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles que puedan atravesar la membrana celular, la hidrólisis es, por tanto, el primer paso necesario para la degradación anaerobia (Angelidaki, 1997). Las bacterias que participan en esta etapa son las Hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados, ejemplos de las bacterias hidrolíticas son las enterobacterias, bacterias aerotolerantes como las bacterias del ácido láctico, y bacterias anaerobias estrictas como Clostridium, Bacteroides, Propionibacterium y Selenomonas (Sanders, 2001). Las Enterobacterias como la Coli tienen una enzima formiato liasa responsable de la generación

de hidrógeno a partir de formiato. Las bacterias del ácido láctico producen a partir del azúcar ácido láctico y etanol dependiendo si son homo o heterofermentativas.

En esta etapa las bacterias, actúan sobre los componentes orgánicos del sustrato, tales como celulosa, almidones, proteínas y grasas entre otras, transformándolos por hidrólisis en compuestos orgánicos solubles, de esta forma los carbohidratos se convierten en azúcares simples; las grasas, en ácidos grasos y glicerol y las proteínas se desdoblan en polipéptidos y aminoácidos, liberando también  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Posteriormente, esos productos son convertidos a ácidos orgánicos, fundamentalmente butírico, propiónico y acético (Angelidaki, 1997).

La hidrólisis depende de variables como pH, temperatura, concentración de biomasa hidrolítica, tipo de materia orgánica y tamaño de partícula. En general la tasa de hidrólisis aumenta con la temperatura independiente del sustrato utilizado, y disminuye cuando existe en la composición del sustrato una alta cantidad de lignina, este compuesto es altamente refractario a la degradación anaerobia, afectando la biodegradabilidad del sustrato (Veeken, 2002).

En la etapa Acidogénica o Fermentativa, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas, formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y  $\text{CO}_2$  por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es ser donantes de hidrógeno,  $\text{CO}_2$  y acetato para las bacterias metanogénicas (Bonmanti, 2001).

Existen dos tipos de microorganismos que producen acetato, las bacterias Homoacetogénicas las cuales fermentan el acetato como único metabolito y las bacterias Acetogénicas las que metabolizan los productos terminales de la etapa acetogénica y necesitan asociarse estrechamente a

microorganismos consumidores de hidrógeno (Flotats,1997). Por otra parte existen las bacterias sulfato reductoras, este tipo de microorganismos se da por oxidación de compuestos orgánicos, y reducción de sulfato a sulfuro. Se subdividen en dos grupos: oxidadores completos que producen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y sulfuro, y oxidadores incompletos cuyos productos son acetato,  $\text{CO}_2$  y sulfuro.

La metanogénesis es el punto final del proceso, donde actúan las bacterias metanogénicas, degradando estos ácidos y alcoholes, obteniéndose como productos finales del proceso metabólico, gas metano ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$ , y trazas de  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  y biomasa. Según Chinoweth (2002), esta etapa constituye el paso limitante del proceso de degradación anaerobia. Las bacterias metanogénicas, pertenecen al Reino de las Arqueobacterias, y de acuerdo a los sustratos que pueden degradar, se dividen en:

- Hidrogenotróficos: Estas bacterias son capaces de producir metano a partir de hidrógeno como dador de electrones y anhídrido carbónico como fuente de materia orgánica.
- Metilótrofos: Metabolizan compuestos como metilaminas y metilsulfuros.
- Acetoclásticos: Producen metano y anhídrido carbónico a partir de acetato.

El mayor número de especies de bacterias metanogénicas pertenecen al primer grupo. Los géneros de metanobacterias hidrogenofílicas mesófilas más frecuentes en reactores anaerobios son: *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter*.

2.1.18. FACTORES INFLUYENTES EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Como todo proceso biológico, la digestión anaerobia debe ser controlada, pues existen diversos factores que influyen considerablemente en el éxito o no de la misma (Finck, 2002). Un desbalance en alguno de estos factores puede provocar la ruptura del equilibrio entre las comunidades microbianas y por consiguiente el no funcionamiento del sistema, la no producción de biogás y fertilizante (Flotats, 1997). A continuación se relacionan los factores de mayor importancia que influyen en este proceso fermentativo.

- La temperatura

Es una variable muy importante ya que a medida que aumenta la temperatura también aumenta la actividad metabólica de las bacterias (Veeken , 2000), requiriéndose menor tiempo de retención para que se complete el proceso de fermentación, tal como muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Relación entre el periodo de fermentación y la temperatura.

Temperatura °C	8	10	15	20	27	37
Tiempo (días)	120	90	60	45	38	30

A mayor temperatura se obtiene mayor agilidad en el desarrollo del proceso, permitiéndose la posibilidad de emplear dimensiones menores en el reactor, no obstante lo anterior, cuando se trabaja a temperaturas muy elevadas el proceso puede dejar de ser rentable, por lo cual es común que los digestores operen en un rango mesofílico. La Tabla 3, muestra los valores máximos, mínimos y óptimos a los cuales puede operar una fermentación anaerobia.

Tabla 3. Rangos de temperatura para la fermentación anaeróbica.

Rangos °C			
Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo
Sicrofilica	4-10	15-18	25-30
Mesofilica	15-20	28-33	35-45
Termofilico	25-45	50-60	75-80

Fuente: FAO, 1996.

- ✓ Relación carbono/ nitrógeno

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y nitrógeno (N). Si el contenido de este último es muy alto, la reproducción de las bacterias se inhibe debido a la alta alcalinidad. Lo ideal es una relación C/N de 20:1 a 30:1; relaciones C/N menores; por ejemplo 8:1, inhiben la actividad bacteriana por excesivo contenido de amonio. La concentración de amoníaco en el material de fermentación debe ser menor de 2000 mg/L (Flotats, 2000).

#### ✓ Control del pH

Es de vital importancia para el sistema, ya que una disminución del pH puede traer como resultado la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas, ello hace que disminuya la producción de metano y aumente el contenido de dióxido de carbono y se produzcan olores desagradables por el aumento del contenido de sulfuro de hidrógeno (Lay, 1998).

De manera general, el pH se mantiene bastante estable a pesar de la producción de ácidos por las bacterias, ya que en el medio fermentativo se generan sustancias tampones que garantizan un rango de pH adecuado. Además, la velocidad de formación de ácido depende de la velocidad de la conversión a biogás. Se acepta generalmente que los valores óptimos del pH oscilen entre 5.5 y 8.0, sin embargo en el sistema de dos etapas el pH recomendado depende de la fase anaerobia, tal como muestra la Tabla 4.

Tabla 4. pH óptimo en la producción de biogás

Valor de pH	Etapas hidrolítica	Etapas metanogénica
Valor típico	5.0 - 6.0	6.5 - 7.5
Valor óptimo	5.5 - 5.7	6.8 - 7.2

Fuente: FAO, 1996.

#### - Bacterias adecuadas

Debe existir una proporción óptima de ambas poblaciones bacterianas, metanogénicas y no metanogénicas, lo cual se garantiza con un previo inóculo, el cual desarrolla suficientes sustancias amortiguadoras para mantener los valores deseados de pH y que cubren casi totalmente las altas

demandas de condiciones anaeróbicas por las bacterias metanogénicas (Angelidaki, 1997).

- Inhibición del sistema

Los porcentajes más favorables de sólidos totales en el medio de fermentación, deben estar entre 5 y 10%, ya que valores de 15% en adelante tienden a inhibir el proceso (Sanz, 1996). Los metales pesados, los antibióticos, concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias como detergentes y pesticidas, son productos que inhiben el proceso de producción de biogás (Flotats, 1997), no deben existir en el sistema condiciones que faciliten la entrada de oxígeno ni presencia de compuestos que se oxiden y liberen oxígeno, como por ejemplo, los nitratos; pues las bacterias metanogénicas demandan condiciones de estricta anaerobiosis.

#### 2.1.19. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS

##### Ventajas de un Digestor Anaerobio

##### a) Producción de Energía

Por la acción de las bacterias metanogénicas, gran parte del contenido orgánico de las aguas se transforma en gas metano; teóricamente 1 Kg. de la DQO eliminada produce 350 litros de metano a 35°C. Este combustible posee un elevado poder energético utilizable.

##### b) Producción de Fangos

Por quedar convertida la mayor parte de la materia orgánica, en el proceso anaerobio, en biogás, el sólido restante queda bien estabilizado y utilizable previa deshidratación.

##### c) Proceso Exterior

Como los reactores se construyen en ambientes cerrados, la producción de malos olores es baja en el proceso anaerobio, comparado con los olores desagradables que se desprenden en el sistema donde la depuración se realiza en espacios abiertos. Según

RAS (2000) los digestores cerrados deben ubicarse a distancia mínima de 500 metros de las urbanizaciones.

Desventajas del Proceso Anaerobio

a) Puesta en Marcha

Debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos, en el proceso Anaeróbico la puesta en marcha de este tratamiento es lenta.

b) Temperatura

El tratamiento anaerobio a temperatura ambiente resulta demasiado lento, lo que supone un aporte externo de energía, ya que requiere temperaturas de, al menos, 35 °C, para que la actividad de las bacterias sea óptima.

c) Costos

Los costos asociados a la construcción de los digestores anaerobios son altos, comparado con sistemas no convencionales de tratamiento, principalmente porque necesita de un sistema integrado, para proporcionar un tratamiento completo y adecuado a los purines, además necesita la instalación de dispositivos que permitan, calentar los purines hasta una temperatura adecuada, y la instalación de un sistema de recolección y acumulación del gas, para su posterior uso o quema.

Los costos de operación y mantención no son tan altos, solo requiere personal capacitado, para que realicen las labores de mantención, que por lo general no son muy frecuentes.

#### 2.1.20. FACTORES RELACIONADOS CON EL DISEÑO Y OPERACIÓN EN DIGESTORES ANAEROBIOS

“El diseño y operación de un digestor anaerobio debe asegurar las siguientes condiciones” (Monroy, 2007)

- Retención de lodos viables dentro del reactor. Mientras mayor sea la concentración de células activas retenidas (sedimentadas ó adheridas) mayor será la carga orgánica que podrá tratar. La capacidad que puede tener un tipo de reactor para retener biomasa bajo diversas condiciones y el sistema de

separación gas-sólido-líquido son los factores claves en el diseño y operación de digestores anaerobios.

- Contacto entre el lodo y el sustrato. El tiempo de retención hidráulico debe ser suficiente para permitir un estrecho contacto entre los reactantes. Si se tiene en cuenta la baja velocidad de crecimiento de las bacteria metanogénicas y que el 90% de la energía que utiliza esta población es para la producción de metano y solo el 10% para síntesis celular, el tiempo que se requiere para formar una biomasa activa implica, que el tiempo de residencia del lodo con el agua se debe incrementar.
- Velocidades de reacción. Es decir que los productos puedan salir fácilmente del agregado, que los subproductos puedan transferirse inmediatamente entre las especies y que los sustratos se encuentren a concentraciones adecuadas frente a las especies. La difusión del sustrato hacia el microambiente que rodea las bacterias, está limitada por la velocidad de difusión del sustrato en el manto de lodo y en el lodo granular.
- Transferencia de masa. El tamaño de las biopartículas o biopelículas, deben permitir el fácil acceso de los organismos al sustrato.
- Tiempo de retención de sólidos. Un alto tiempo de retención de los sólidos en el digestor, contribuirá a una mayor adaptación de los lodos al afluente favoreciendo la estabilidad de la biomasa.
- Tecnología de producción de biogás. Esta tecnología permite producir biogás y fertilizante líquido, mediante el tratamiento de desechos orgánicos, por el proceso de digestión anaerobia.

Tabla 5. Producción de gas por tipo de excretas

EXCRETA	PRODUCCION DEL GAS POR KG EXCRETA (M3)
OVINO	0.023 – 0.040
PORCINO	0.040 – 0.059
AVICOLA	0.065 – 0.116
HUMANA	0.020 – 0.028

Fuente: Guía turística actualizada en el desarrollo de la energía de biogás, 1994

### 2.1.21. CARACTERISTICAS DEL BIOGAS

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno) como se muestra en la Tabla 5, y cuya composición, depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. Aunque la composición del biogás depende de muchas variables, es posible determinar un rango típico de sus componentes (Flotats, 2000)

Tabla 6. Composición típica de biogás producido en la digestión anaeróbica.

Gas	Fórmula	Porcentaje %	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Metano	CH <sub>4</sub>	50-70	0.717
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	30-40	1.917
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1-2	1.250
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	5-10	0.090
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	Trazas	1.539

Fuente: Estudio de la Producción de Biogás en una Unidad Experimental de un Relleno Sanitario. De la Fuente, 2000.

La materia orgánica, constituye el sustrato fundamental para la producción de biogás. El material de fermentación puede ser de origen animal, tales como estiércol del ganado vacuno, cerdos, ovejas, caballos, aves, otras de origen vegetal, tales como pulpa de café, hojas de papa, desechos de banana, remolachas, cascarilla de arroz y otras; desechos de cultivos acuáticos como algas marinas, maleza acuática y de origen doméstico, aguas residuales de letrina y cocina, sin contenido de jabón (Finck,1992; Flotats, 2000),variando su porcentaje de metano según se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentajes típicos de metano para diferentes materias primas

Materia prima	% Metano	% CO <sub>2</sub>
Estiércol de gallina	60	40
Estiércol de cerdo	67	33
Pastos y vegetales	70	30
Desperdicios domiciliarios	50	50
Cascarilla de arroz	55	45

Fuente: Instituto de investigaciones Tecnológicas, Chile 2003

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano alrededor de los 500 ° C), la temperatura de la llama alcanza 870 ° C (Chinoweth, 2002). Entre más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano, y con esto el poder calorífico. Con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%. Con un contenido de metano mucho menor del 50%, el biogás deja de ser inflamable.

El poder calorífico del biogás es de 5500 kcal/m<sup>3</sup>, es decir, 1 m<sup>3</sup> de biogás puede reemplazar 0.46 kg de gas propano, 0.71kg de gasolina, ó 3 kg de leña como se puede observar en la Tabla 7. Además 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 3 kw- h/m<sup>3</sup>, todo esto dependiendo del porcentaje de metano existente en el gas (Cofré, 2001)

Tabla 8. Combustibles típicos y su poder calorífico.

Combustible	Poder calorífico inferior	Poder calorífico superior
Petróleo	10000 kcal/kg	10500 kcal/kg
	8850 kcal/kg	9293 kcal/kg
Gas natural	8300 kcal/m <sup>3</sup>	9300 kcal/m <sup>3</sup>
Gas licuado	10950 kcal/kg	11951 kcal/kg
Leña seca	4600 kcal/kg	5200 kcal/kg
Biogás	5500 kcal/m <sup>3</sup>	6000 kcal/m <sup>3</sup>

*Fuente: PROAGRO BOLIVIA 2007.*

### 2.1.22. UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa, sin embargo también puede ser utilizado para iluminación, calefacción, como reemplazo de la gasolina o el diesel en motores de combustión interna, operar maquinaria agrícola o bombear agua (Veeken , 2002).

El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. Se debe tener especial cuidado con el ácido sulfhídrico del biogás, ya que ocasiona corrosión prematura en los equipos, por esta razón es necesario

colocar una trampa de limadura de hierro en la línea de transporte del biogás (Cofré, 2001).

La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero especial o de esmalte. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás, la presión del gas puede ser baja, pues los motores lo succionan, tampoco es rentable licuar el biogás. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico (Cofré, 2001), la Tabla 9 muestra la duración de 1 m<sup>3</sup> de biogás para diferentes artefactos.

Tabla 9. Duración mínima de 1m<sup>3</sup> de biogás para diferentes artefactos

Alimentación	Consumo Kcal/h	1m <sup>3</sup> biogás (duración mínima)
Cocina de 1 hornilla	660-742.5	7.4 h
Lámpara	478-528	10.4 h
Termo tanque 110 L	1375-1650	3.3h
Estufa de 600 cal	3355-4400	1.25 h
Motor (hp/h)	2750-4400	1.25 h
Generación de electricidad.	6.4 Kw/h	2 h

*Fuente: FAO 1998.*

### 2.1.23. USO DEL BIOABONO

El residuo orgánico que se obtiene en los procesos de digestión anaerobia, es un lodo fluido, de excelentes propiedades fertilizantes, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza la fermentación y por el material agotado. Su contenido de materia orgánica, composición química y otras propiedades dependen de las características de la materia prima utilizada y factores ambientales (Finck 2002).

En el mercado de los abonos, el fertilizante obtenido en la planta de biogás compite con el estiércol fresco y con los fertilizantes químicos; ya que permite un ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminuir la productividad, no deja residuos tóxicos en el suelo y además presenta un aumento de la productividad al compararla con la de suelos no abonados (Soria, 2000).

La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Soria, 2000).

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas o bien, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente, sin embargo en el proceso de deshidratación puede haber pérdidas por volatilización de hasta del 60% de nitrógeno.

Otra ventaja que se debe destacar es su carácter orgánico, de gran importancia ya que valoriza los productos agrícolas que los utilicen, al ser la agricultura (frutales u hortalizas) y la industria forestal actividades desarrolladas ampliamente en el país, se proyecta un positivo uso de este fertilizante a nivel nacional y extranjero (Westermeyer, 2004).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**ACETOGÉNESIS:** etapa básica del proceso anaerobio en la cual los productos de la acidogénesis son convertidos en ácido acético, hidrógeno y gas carbónico.

**ACIDEZ:** capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/L como carbonato de calcio.

**ACIDOGÉNESIS:** etapa básica del proceso anaerobio en la cual las moléculas pequeñas, producto de la hidrólisis, se transforman en hidrógeno, gas carbónico y ácidos orgánicos (butírico, propiónico y acético).

**AFLUENTE:** agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o a algún proceso de tratamiento.

**BIODEGRADACIÓN:** es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos.

**BIODIGESTOR:** es un depósito completamente hermético en donde se depositan las excretas de animales, las cuales se fermentan mediante un proceso anaeróbico. Como resultado de este proceso se genera gas metano y un líquido sobrante con excelentes características para utilizarse como un bio fertilizante.

**BIOGÁS:** es la mezcla de gas producido por bacterias metanogénicas que transforman material biodegradable en condiciones anaerobias. Está compuesto de 60 a 80% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono y trazas de otros gases, como nitrógeno, ácido sulfhídrico, monóxido de carbono e hidrógeno. El biogás tiene un poder calorífico entre 4500 y 6500 kcal/ m<sup>3</sup>.

**CARGA DE DISEÑO:** producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptable de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo (M/T).

**CARGA ORGÁNICA:** producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

**CARGA SUPERFICIAL:** caudal o masa de un parámetro por unidad de área y unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> -día), kg DBO/(Ha – día).

**CONCENTRACIÓN:** denomínese concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

**CONTENIDO TOTAL DE SÓLIDOS:** usualmente expresado en porcentaje, indica la fracción del peso total de sólidos orgánicos en la mezcla acuosa.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de la materia orgánica biodegradable.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

**DIGESTIÓN ANAEROBIA:** es oxidación de la materia orgánica y transformación en gas y lodos, en ausencia de aire, que se realiza en la naturaleza como parte de la cadena alimenticia de ciertos microorganismos (bacterias anaerobias). El gas resultante en este proceso se conoce como biogás. El proceso de digestión tiene lugar en un digestor sellado el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias metanogénicas fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Durante este proceso el 30 a 60% de la materia orgánica es convertida en biogás.

**DIGESTIÓN PSICROFÍLICA:** es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 10°C y 20 °C. A estas temperaturas la carga debe permanecer en el digestor más de 100 días.

**DIGESTIÓN MESOFÍLICA:** es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 30°C y 35°C. La carga debe permanece en el digestor 15 a 30 días. Este tipo de proceso tiende a ser más confiable y tolerante que el proceso termofílico, pero la producción de gas es menor y se requieren digestores de gran tamaño.

**DIGESTIÓN TERMOFÍLICA:** es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas mayores de 55°C y el tiempo de residencia es debe ser de 12 a 14 días. Estos sistemas ofrecen una producción de metano más alta, caudales más rápidos, mejor eliminación de patógenos y virus. Estos sistemas requieren tecnología más costosa, consumen más energía y requieren mayor asistencia y monitoreo.

**EFICIENCIA DE TRATAMIENTO:** relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

**EFLUENTE:** subproducto de la digestión anaerobia el cual es una solución orgánica estabilizada que puede ser utilizada como fertilizante, para riego y piscicultura.

**ESTIÉRCOL LÍQUIDO:** es el orín de los animales que tiene un contenido de sólidos de menos de 3%. El orín se “lava” utilizando agua fresca o reciclada. Estos residuos también pueden utilizarse para la obtención de biogás en climas cálidos.

**ESTIÉRCOL:** son las heces fecales de los animales. En general el estiércol posee un contenido de sólidos de 8 a 25%, dependiendo del tipo de animal. Este puede ser mezclado con agua para ser alimentado al digestor en relación de 10 a 1.

**GRADO DE DIGESTIÓN:** este indica cuánto gas se obtiene en comparación con la producción potencial. La diferencia con el 100% indica qué cantidad de materia orgánica no ha sido procesada. En plantas de biogás sencillas, el grado de digestión alcanza alrededor del 50%. Esto significa que la mitad de residuos orgánicos queda sin aprovechar y salen como fertilizantes en el efluente.

**HIDRÓLISIS:** etapa básica del proceso anaerobio en la cual se realiza la descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción del agua.

**LIXIVIACIÓN:** fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables causado por el movimiento de agua en el suelo, y es, por lo tanto característico de climas húmedos. Esto provoca que algunas capas de suelo pierdan sus componentes nutritivos, se vuelvan más ácidos.

**MASA DE AGUA:** cantidad de agua necesaria para mezclar con la materia prima con el fin de obtener la carga diaria al digestor, en las condiciones de mezcla de 10 partes de agua por 1 de sólidos orgánicos.

**MASA ORGÁNICA SECA (SO):** es el contenido de materia orgánica de un estiércol expresado como masa orgánica seca. Para el proceso de digestión son importantes sólo los componentes orgánicos o volátiles de los residuos orgánicos, por lo tanto se trabaja solamente con la parte orgánica del estiércol.

**MATERIA PRIMA:** es la totalidad de residuos orgánicos que pueden recolectarse y que pueden ser utilizados para cargar el biodigestor. Esta guía utiliza los términos residuos orgánicos y materia prima para destacar la importancia de considerar este material como un recurso renovable (biomasa).

**pH:** concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ) o hidróxidos ( $OH^-$ ) que determinan la acidez o basicidad de una sustancia. El pH se mide de 0 a 14 siendo 7 una solución neutra, de 0 a menor de 7 ácida y mayor de 7 a 14 básica. La concentración de  $CO_2$  en la carga, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad de la materia prima hacen variar el pH del biodigestor.

**POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS:** se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de una materia prima, en función de la producción específica y de la cantidad disponible de materia orgánica seca. Aunque el producido no puede juzgarse independientemente de otras variables del proceso.

**PROCESO BIOLÓGICO:** proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc).

**TASA DE CARGA VOLUMÉTRICA:** corresponde a los kilogramos de sólidos volátiles adicionados por día y por metro cúbico de capacidad de digestor.

TIEMPO DE RETENCIÓN (TR): es el lapso (en días) durante el cual la carga alimentada permanece en el digestor y es el tiempo necesario para la digestión del material orgánico a la temperatura de operación del digestor. El TR es inversamente proporcional a la temperatura.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO: tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO: procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

## 2.3 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

### 2.3.1 HIPOTESIS GENERAL

- La biodigestion anaeróbica de purines de origen pecuario produce biogás, como una fuente de energía renovable.

### 2.3.1 HIPOTESIS ESPECÍFICO

- Las características fisicoquímicas de los tipos de purín determinan el potencial de producción de biogás.
- Existe diferencias en la producción de biogás entre los tratamientos en estudio.
- El biogás puede sustituir en el consumo del Gas Licuado de Petróleo, para la satisfacción de las necesidades energéticas de la granja.

### CAPITULO III

#### 3. METODO DE INVESTIGACION

##### 3.1. IDENTIFICACION

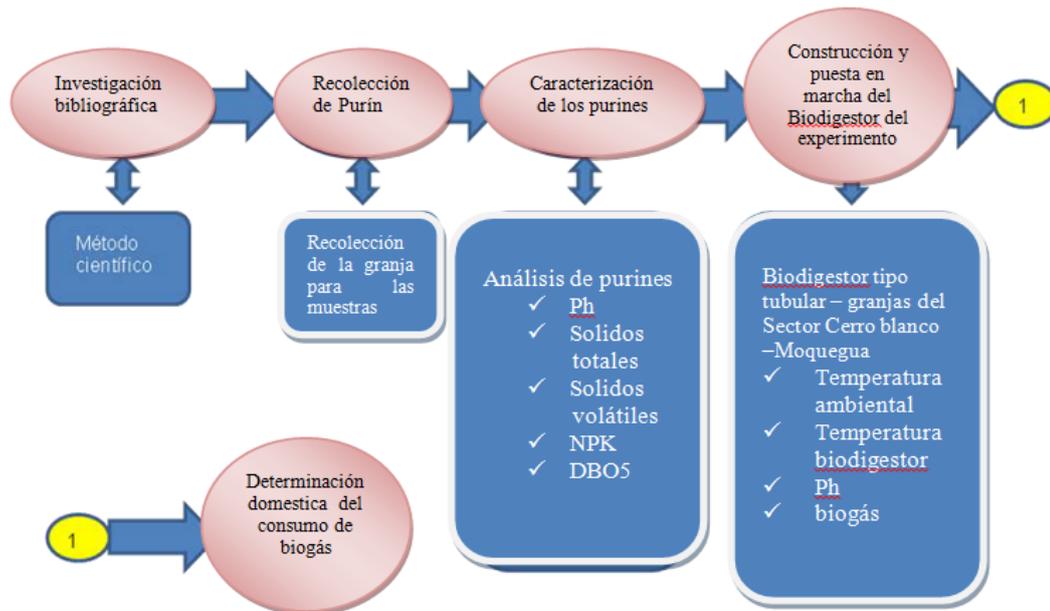


FIGURA 09. Proceso de investigación.

##### 3.1.1. RECOPIACION DE INFORMACION

Inicialmente se recopiló la información necesaria sobre la generación de biogás de los distintos residuos pecuarios, para ello se procedió a investigar en bibliotecas públicas y privadas, internet, sobre información específica en tratamiento de purín de origen pecuario, digestión anaerobia, diseño y construcción de biodigestores.

##### 3.1.2. AREA DE PROYECTO

El ámbito de investigación está ubicado en:

###### Ubicación Política

Región	:	Moquegua
Provincia	:	Mariscal Nieto
Distrito	:	Moquegua

Centro Poblado : Chen Chen  
 Lugar : Cerro Blanco  
 Ubicación Geográfica  
 Latitud Sur : 17° 13' 23"  
 Longitud Oeste : 70° 58'45"  
 Altitud : 1536 m.s.n.m.

Vías de comunicación y/o acceso.

VIAS DE ACCESO	DISTANCIA KM	VIA
Moquegua – Cruce Toquepala	3.60	Asfaltada
Cruce Toquepala - Cerro Blanco	2.20	Trocha

FIGURA 10. Elección del área de proyecto.



Fuente: Google Earth, 2013

3.1.3. TIPO DE INVESTIGACION.

**Experimental**, porque se ha utilizado el método de ensayo de prueba y error para obtener las mejores características de funcionamiento del biodigestor de biogás, así obtener una buena producción y calidad de energía con los purines de origen pecuario.

**Explicativa**, se han identificado las variables en el desarrollo de la investigación.

En el desarrollo de la investigación predomina lo cuantitativo por la preferente utilización de los siguientes datos:

- ✓ Verificación de los parámetros de medición de los purines pre y post biodigestion anaerobica.
- ✓ Optimización de la producción de biogás mediante las combinaciones de purines.
- ✓ Disminuir el consumo de Gas Licuado de Petróleo en la zona en estudio.

#### 3.1.4. POBLACION Y MUESTRA.

##### 3.1.4.1. Población

La población de la presente investigación está conformada por las granjas de las 281 familias en el Sector de Cerro Blanco, Centro Poblado de Chen - Moquegua.

##### 3.1.4.2. Muestra

Específicamente se ha ensayado con purín de ganado porcino, y combinaciones con purín de cuy y estiércol de gallina, que se ha obtenido en la granja "Jayson".



FIGURA 11. Recolección de muestra.

#### 3.1.5. TECNICAS DE RECOLECCION DE INFORMACION

En el desarrollo de la presente investigación se han utilizado las siguientes técnicas de recolección de información:

- ✓ Observación experimental: registros específicos.
- ✓ Observación directa: cuaderno de notas

### 3.1.6. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACION

- ✓ Revisión de la información obtenida
- ✓ Tabulación de los cuadros según las variables.
- ✓ Representación gráfica de los resultados.
- ✓ Análisis e interpretación de los resultados en relación a los objetivos y la hipótesis.

### 3.2. CARACTERISTICAS DE PURIN PRE Y POST PROCESO ANAEROBICO.

El material de fermentación es el purín de porcino y las combinaciones con purín de cuy y estiércol de gallina, que contienen bacterias metanogénicas, siendo materiales apropiados para la digestión anaeróbica.

#### 3.2.1. PORCENTAJE DE SOLIDOS TOTALES

$$\%ST = \frac{E * \%EST}{MPC}$$

Donde,

%ST = Porcentaje de sólidos totales contenidos en la materia prima para carga

MPC = Materia prima para carga en litros por día.

%EST = Porcentaje de sólidos en el purín.

P = Estiércol en litros por día.

3.2.2. CONTROL DE TEMPERATURA, PH Y OTROS ELEMENTOS

Durante la operación del sistema, se realizó un seguimiento de la evolución de los parámetros de éste, en la fase líquida y en la fase gaseosa. La Tabla muestra cada uno de los parámetros analizados durante el estudio.

Tabla 10. Parámetros medidos durante la operación del sistema.

PARÁMETRO	FRECUENCIA	MÉTODO
pH	Diario	Medición
Temperatura	Diario	Medición
Sólidos totales	Por	Peso seco
Sólidos volátiles	Por	Peso seco
Composición	Por	Análisis

Temperatura: Se controló la temperatura ambiental y de la cámara que alberga la mezcla, con termómetro de máximas y mínimas de mercurio y termómetro por contacto.

pH: Se midió y controló 1 vez al día mediante un pH Metro medidor digital de pH de Líquidos.

3.2.3. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA

Los sólidos totales y volátiles son determinados por peso seco, tomándose una muestra de 10 mL a cada biodigestor con una pipeta parcial. La muestra es puesta en un contenedor de aluminio previamente secado y pesado (A), el cual es secado en una estufa WTC Binder 78532 durante 24 h a 105°C. Luego los contenedores son llevados a un desecador por un periodo de 1 h y pesados en una balanza digital Bell Engineering (B). Por diferencia de peso respecto al contenedor seco, se determinan los sólidos totales de acuerdo a la ecuación (1):

$$ST = \frac{(A-B) \times 1000}{V}$$

Dónde:

- A : Masa contenedor seco (mg)
- B : Masa contenedor más muestra seca a 105°C (mg)
- V : Volumen de muestra (mL)
- ST : Sólidos totales (mg/L)

Luego la muestra seca es puesta en una mufla Thermolyne 62700, durante 1 h a 550°C, posteriormente se lleva a un desecador por 1 h y es pesada (C). Los sólidos volátiles se obtienen a partir de la ecuación:

$$SV = \frac{(A-B) \times 1000}{(A-C)}$$

Dónde:

- C : Masa del contenedor con muestra calcinada a 550°
- SV : Sólidos volátiles (mg/L)

### 3.3. PRODUCCION DE BIOGAS GENERADO POR LOS PURINES

#### 3.3.1. MATRIZ DE PRESELECCION DE BIODIGESTOR

	BIODIGESTORES		MODELO DE CAMPANA FLOTANTE			MODELO DE DOMO FIJO			MODELO MEDIA MANGA		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Item	%	ASPECTO EVALUADO	CALIF.	C/5	D*A	CALIF.	F/5	G*A	CALIF.	I/5	J*A
1	15.00	MATERIA PRIMA	4.00	0.80	12.00	5.00	1.00	15.00	5.00	1.00	15.00
2	5.00	VIDA UTIL	3.00	0.60	3.00	4.00	0.80	4.00	2.00	0.40	2.00
3	15.00	AREA	4.00	0.80	12.00	4.00	0.80	12.00	4.00	0.80	12.00
4	20.00	COSTOS	3.00	0.60	12.00	4.00	0.80	16.00	6.00	1.20	24.00
5	15.00	CONSTRUCCION	5.00	1.00	15.00	6.00	1.20	18.00	7.00	1.40	21.00
6	15.00	OPERACIÓN	4.00	0.80	12.00	4.00	0.80	12.00	3.00	0.60	9.00
7	15.00	RENDIMIENTO	3.00	0.60	9.00	3.00	0.60	9.00	3.00	0.60	9.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>		<b>75.00</b>			<b>86.00</b>			<b>92.00</b>		

FUENTE: Información propia

Biodigestor tipo tubular, un diseño nuevo con una aceptación del 92% de acuerdo al matriz de preselección, debido al costo de construcción, su

operación y mantenimiento, hacen que este tipo de biodigestor sea elegido para el presente trabajo de investigación.

### 3.3.2. ETAPA DE CONSTRUCCION.

#### 3.3.2.1. Excavación

Bajo tierra se excavó tres fosas de 1.2m largo x 0.7m de ancho x 0.5m de profundidad, en forma de trapecio que tiene por objeto darle sostén y firmeza al biodigestor, como también, mantener una mayor temperatura en él.



FIGURA 12. Trazo de los biodigestores.



FIGURA 13. Fosas para los biodigestores

### 3.3.2.2. Construcción de cajas y conexión de tuberías de ingreso y salida de los biodigestores.

En la fosa, se construyó el biodigestor de material de concreto. La construcción del biodigestor se hizo en forma de trapecio. A la entrada del biodigestor se construyó una caja en bloque que sirvió como depósito para homogenizar en ella la mezcla con que se alimenta el digestor. Esta caja es pequeña y de poca profundidad, en ella se dejó reposar la mezcla y posteriormente ingresar en el biodigestor.

A la salida del biodigestor se construyó otra caja de las mismas características que la primera con la diferencia, que ésta fue de descarga. Esta caja recibió el efluente proveniente de la fermentación que ocurría al interior del digestor. Al interior de ella se conectaron dos tuberías, la que recibió el efluente del biodigestor y la que dio continuidad al flujo para su posterior tratamiento en el humedal artificial para su respectiva reutilización.



FIGURA 14. Caja de ingreso al biodigestor



FIGURA 15. Prueba hidráulica de los biodigestores

### 3.3.2.3. Instalación de la geomembrana

Para conformar el biodigestor se empleó geomembrana, cubriendo la parte superior para completar el biodigestor, y esto tiene una canalera en su perímetro, que alimentado con agua actúa como sello hidráulico.



FIGURA 16. Extendido de la geomembrana



FIGURA 17. Instalacion de acoples a la tuberia de salida del biogas



FIGURA 18. Instalación de la geomembrana en los biodigestores.

#### **3.3.2.4. Construcción de medidores de volumen de biogás**

Se construyeron gasómetros con el principio de desplazamiento de agua.

Se presenta en este trabajo gasómetros que consta de dos caños de PVC de 0,20 m de diámetro y 0,4 mm de espesor, del tipo de los utilizados en la construcción de desagüe. Se dispusieron verticalmente, uno de ellos de 0.8 m de altura y cerrado en ambos extremos y el otro de 1.60 m de altura, abierto en la parte superior. Para visualizar el desnivel de agua provocado por la presión del biogás, se adaptaron en cada uno de estos tubos verticales, una manguera transparente, y dos cintas métricas para la observación y medición de dicho desnivel. Ambos

tubos dispuestos a la par, se comunican por sus extremos inferiores, en configuración vasos comunicantes, conformando un barómetro de tubo abierto, por lo que además del volumen, el dispositivo proporciona en todo momento el valor de la presión interna del reactor.

El tubo de 0.8 m, dispone en su parte lateral superior, una entrada/salida de biogás en "T", que permite el ingreso de biogás generado en el reactor y la extracción de biogás para su almacenamiento y uso. La comunicación entre los tubos verticales, es en sus laterales inferiores materializada mediante manguera transparente, con una llave intercalada para permitir o inhibir la circulación del agua entre los mismos. El tubo de 1.6m de altura, dispone de una llave de drenaje para extracción del agua, necesaria en la operación de calibración y ajuste de nivelación durante la etapa de puesta a punto de medición de volumen de biogás generado.

Ambos recipientes contienen agua acidulada con 5% de ácido clorhídrico, para evitar que el  $\text{CO}_2$  (componente del biogás) se disuelva en el agua del medidor tergiversando la medición de volumen.



FIGURA 19. Gasómetros para medir volumen de biogás

### 3.3.2.5. Línea de conducción de biogás

Para la conducción del biogás, desde la salida de los gasómetros tubulares de los tres sustratos se juntaron para que se conduzca en una sola manguera hasta llegar a la cocina doméstica.

- Instalación de la tubería de conducción.

La conducción del biogás hacia el sitio de consumo se realizó con manguera de  $\frac{3}{4}$ ".

- Instalación de la válvula de seguridad y la trampa de agua.

La válvula de seguridad se instaló sobre la línea de conducción que va al sitio de consumo. Su función fue la de formar un sello de agua que impidió la salida del biogás en condiciones normales, pero que lo dejó escapar cuando hubo exceso de presión.

Para la construcción se utilizó una "T" de PVC que se acopló sobre la línea de conducción. En la parte de la "T" hacia abajo se introdujo un tubo de PVC que en su otro extremo estuvo sumergido en un recipiente con agua a 10 cm actuando como sello hidráulico. Al recipiente, se le realizó pequeñas perforaciones que mantuvo el nivel de agua.

El mismo cumplió el papel de trampa de agua, porque fue instalado en la parte más baja del sistema de conducción del biogás.



FIGURA 20. Válvula de seguridad

➤ Instalación del filtro de ácido sulfhídrico (**H<sub>2</sub>S**).

Con una “Y” sanitaria PVC de 2” de diámetro y un tubo PVC de 1 metro de longitud, se acopló el filtro para retener el ácido sulfhídrico contenido en el biogás, a la tubería de conducción de ½ pulgada con sus respectivas adaptaciones (dos reductores de 2 pulgadas a ½ pulgada para la entrada y salida del gas. A este tubo, se le introdujo esponjillas de alambre, las cuales reaccionan con el H<sub>2</sub>S, eliminando su poder corrosivo.

### 3.3.2.6. Medición de la producción de biogás

La construcción del sistema fueron diseñados de tal manera de permitir las condiciones anaerobias, mantener los parámetros en sus rangos óptimos y evitar fugas y filtraciones. El sistema de bioconversión anaerobia está compuesto por biodigestores anaerobios, gasómetros y accesorios.

En el biodigestor las cargas de purín favorece el cultivo de bacterias hidrolíticas, responsables de dar inicio a la primera etapa de la digestión anaerobia, para lo cual la temperatura de trabajo fue entre 20 y 27 °C, y pH entre 7.35 y 7.71.

Los biodigestores tiene 300 L de capacidad, el cual en la parte superior central del biodigestor está el conducto donde se capta el biogás hacia los medidores de volumen de biogás y de allí hacia el gasómetro.

La medición del flujo y almacenamiento de biogás producido en el sistema, se lleva a cabo en el medidor de biogás, el cual posee 25 L por ciclo de llenado, con

marcador de volumen y el sistema de vaciado por desplazamiento hidráulico manual, la cual se desliza a un gasómetro de almacén general.



FIGURA 21. Gasómetro para medir volumen de biogás

### 3.3.2.7. Diseño y análisis estadístico

#### 3.3.2.7.1. Factores en estudio

Los factores en estudio son residuos orgánicos pecuarios: T-1 (Purín de porcino + agua), T-2 (Purín de porcino + agua + purín de cuy), T-3 (Purín de porcino + agua + estiércol de gallina), con tres repeticiones.

#### 3.3.2.7.2. Diseño experimental

El objetivo principal es determinar la producción de biogás de los purines de origen porcino. Se ha elegido el diseño completamente al azar (DCA).

#### 3.3.2.7.3. Unidades experimentales

- Se ha realizado 9 unidades experimentales.
- Los tratamientos serán los purines de porcino combinados con otros purines.
- Para el DCA tenemos las repeticiones en cada tratamiento, se tiene tres tratamientos y tres repeticiones en cada tratamiento.
- Los parámetros a evaluarse son: la producción diaria de biogás en volumen, en el sistema discontinuo.

El diseño completamente al azar se muestra en la tabla. Esta aplicación permitirá comparar la generación de biogás por cada tratamiento.

Diseño Completamente al Azar.

SISTEMAS	TRATAMIENTOS DE SUSTRATOS		
	T-1	T-2	T-3
R-1			
R-2			
R-3			

FUENTE: Información propia

Diseño del experimento

PARAMETROS	TRATAMIENTOS DE PURIN		
	T-1	T-2	T-3
Volumen Neto (Lt)	300	300	300
Volumen agua (lt)	150	150	150
Volumen purín (Lt)	150	150	150

FUENTE: Información propia

Dónde:

T-1: Tratamiento 1 (100% Purín de porcino)

T-2: Tratamiento 2 (80% Purín de porcino + 20% purín de cuy)

T-3: Tratamiento 3 (90% Purín de porcino + 10% estiércol de gallina)

Repeticiones: tres repeticiones

### 3.3.2.8. Metodología para el análisis estadístico.

Se ha usado la metodología más generalizada.

El Análisis de Varianza (ANVA).

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes estadísticas descriptivas, análisis de varianza en el diseño completamente aleatorio, de acuerdo al siguiente esquema.

Modelo estadístico diseñado asociado al diseño:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Ho:  $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás

Tabla 11. Fórmulas de análisis de varianza.

Fuentes de Variación (F.V.)	Grados de Libertad (G.L.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrados Medios (C.M.)	Fc	Ft
<b>Tratamientos</b>	t-1	$\sum_{i=1}^t n_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2$	$\frac{S.C.TRAT.}{t-1}$	$\frac{C.M.TRAT}{C.M.ERROR}$	
<b>Error</b>	$\sum_{i=1}^t n_i - t$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2$	$\frac{S.C.ERROR = \sigma^2}{\sum_{i=1}^t n_i - t}$		
<b>Total</b>	$\sum_{i=1}^t n_i - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$			

Fuente: Calzada B. "Métodos Estadísticos para la Investigación"

### 3.4. CONSUMO DE BIOGAS

#### 3.4.1. CALCULO CONSUMO DE BIOGAS EN RELACIO AL GLP

Durante la investigación se puso en prueba un quemador de cocina y sobre esta aplicación se hace una comparación con el gas licuado de petróleo.

Para determinar el consumo de biogás se ha puesto a prueba en hervir 8 litros de agua a 90°C en un tiempo determinado:

$$C_B = P_i - P_f$$

Dónde:

$C_B$  = Consumo de Biogás

$P_i$  = Peso inicial de biogás en el recipiente

$P_f$  = Peso final de biogás en el recipiente

$$C_{GLP} = P_i - P_f$$

Dónde:

$C_{GLP}$  = Consumo de GLP

$P_i$  = Peso inicial de GLP en el recipiente

$P_f$  = Peso final de GLP en el recipiente

### 3.4.2. CALCULO DE CONSUMO DOMESTICO DE BIOGAS

Con los datos anteriores se determinó el consumo Lt biogás/Hora el consumo de una cocina domestica de una hornilla, dicho biogás puede ser utilizada en diferentes usos: quemadores, estufas, lámparas de gas, etc.

### 3.4.3. CALCULO PARA DISEÑO DE BIODIGESTOR

#### 3.4.3.1. Calculo de la cantidad de estiércol

$$E = NA \times PVP \times \frac{PE}{100}$$

Donde,

E =Estiércol en kilogramos por día

NA =Número de animales por una especie

PVP = Peso vivo promedio por animal

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

#### 3.4.3.2. Calculo de la cantidad del orina

$$O = NA \times PVP \times \frac{PO}{100}$$

Donde,

O = Orín día en kilogramos

NA = Numero de animales

PVP = Peso vivo promedio por animal

PO = Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo.

### 3.4.3.3. Materia prima para cargar

$$MPC = E + O$$

Donde,

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

E = Estiércol en kilogramos por día

O = Orín en kilogramos por día.

### 3.4.3.4. Masa de agua para la mezcla

$$MH_2O = \frac{MPC \times ST}{10} - MPC$$

Donde,

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

ST = Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga, en Kilogramos por día.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

### 3.4.3.5. Carga diaria

$$C = MPC + MH_2O$$

Donde,

C = carga para alimentar el digester en litros

MPC = Materia prima para carga en kilogramos.

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos o litros.

## CAPITULO IV

### 4. EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. CARACTERISTICAS DE PURIN PRE Y POST PROCESO ANAEROBICO.

##### 4.1.1. POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Tabla 12. Determinación de pH.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	7.61	7.44	7.64	7.22	7.61	7.34
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	7.73	7.37	7.66	7.34	7.76	7.46
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	7.69	7.42	7.58	7.42	7.63	7.52

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

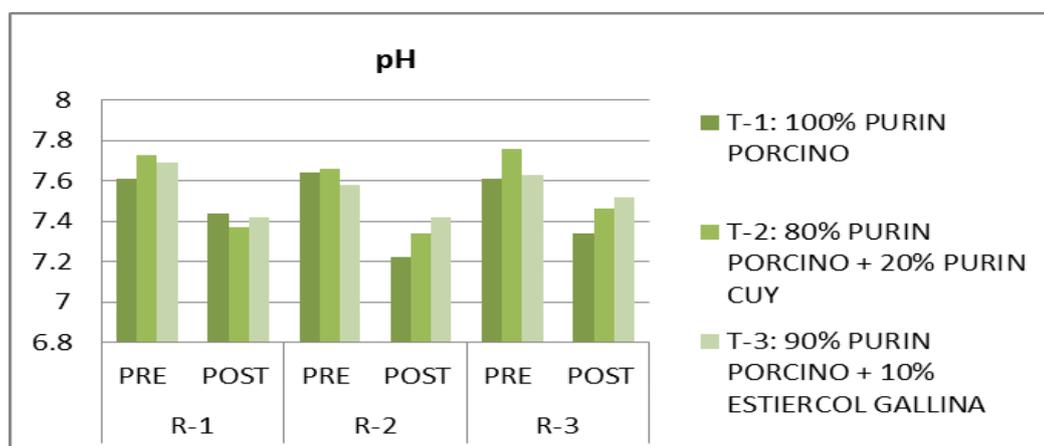


FIGURA 22. Comparación de pH Pre y Post Tratamiento

Los microorganismos anaeróbicos necesitan un pH cercano a la neutralidad para su adecuado desarrollo y además un tratamiento anaeróbico puede proceder bastante bien en un rango de pH entre 6.5 y 7.8, de lo contrario el desarrollo de estos microorganismos se obstaculizan. Si el pH cae por debajo de 6.2, o está por encima de 8.0 el proceso suele ser menos eficiente tal como se puede ver en el control diario de generación de biogás.

De los resultados obtenidos demuestran que los rangos de pH obtenidos en el proceso de fermentación anaeróbica con valores óptimos para que el

proceso se haya llevado de manera exitosa, con la excepción de algunos casos.

#### 4.1.2. CENIZAS

El análisis de las cenizas se realizó solo en el purín pre tratamiento debido a que este parámetro no es de mucha importancia dentro del proceso anaeróbico, obteniéndose los siguientes resultados como se indica en el cuadro.

Tabla 13: Determinación de cenizas

o	R-1	R-2	R-3
T-1: 100% PURIN PORCINO	2.25	2.26	2.23
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	2.28	2.27	2.25
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	2.26	2.24	2.24

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

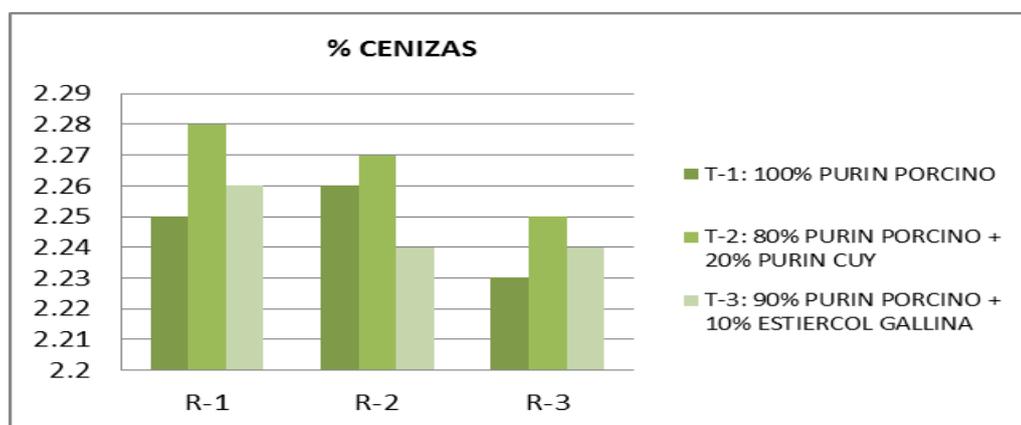


FIGURA 23. Determinación del % de cenizas en el purín

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia solida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer la generación de cenizas y su composición.

**4.1.3. HUMEDAD**

El análisis de humedad se realizó solo en el purín pre tratamiento debido a que este parámetro no es de mucha importancia dentro del proceso anaeróbico.

Tabla 14: Determinación de humedad

	R-1	R-2	R-3
T-1: 100% PURIN PORCINO	71.73	74.56	73.46
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	68.3	69.34	70.64
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	70.2	71.34	72.67

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA - PUNO

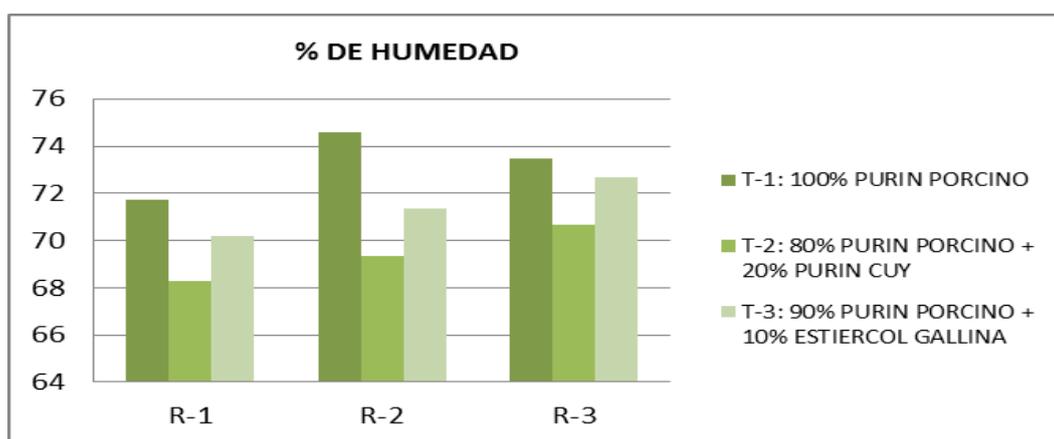


Figura 24: Determinación de la humedad en el purín

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca.

**4.1.4. ALCALINIDAD.**

El purín de las muestras iniciales pre tratamiento presenta valores como se muestra en el cuadro.

Tabla 15: Determinación de la alcalinidad

	R-1	R-2	R-3
T-1: 100% PURIN PORCINO	383	388	382
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	389	386	401
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	376	366	372

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA - PUNO

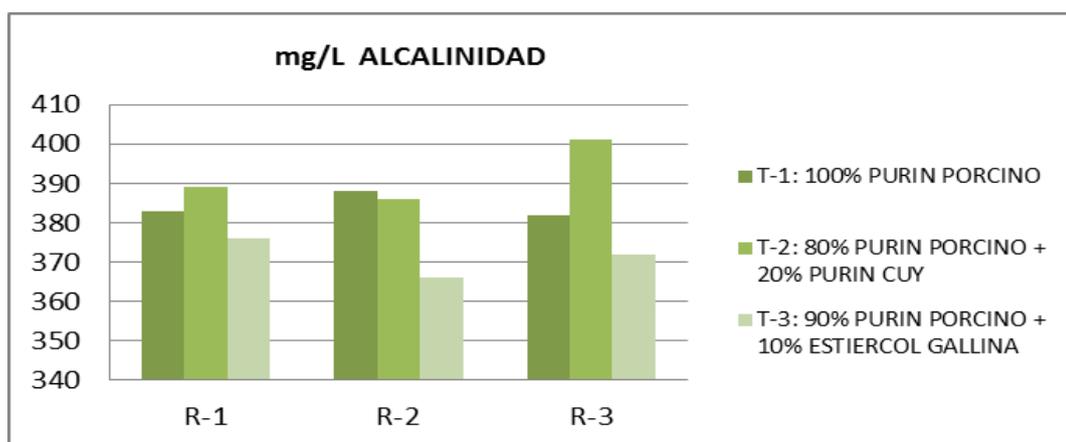


Figura 25: Determinación de la alcalinidad en el purín

La alcalinidad da una medida de la capacidad amortiguadora que posee un digester ante posibles cambios del pH del efluente a tratar, y ya se ha visto la importancia de que el pH se mantenga más o menos constante dentro de un rango de valores. Esta alcalinidad va a determinar el que se puedan tratar o no residuos que no sean neutros.

#### 4.1.5. SOLIDOS TOTALES PRE Y POST TRATAMIENTO

Tabla 16: Determinación de Solidos Totales.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	19.4	7.7	19.6	8	20.2	8.7
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	21.9	7.9	20.5	8.2	23.1	8.5
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	20.8	7.7	19.8	8.1	21.6	8.3

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

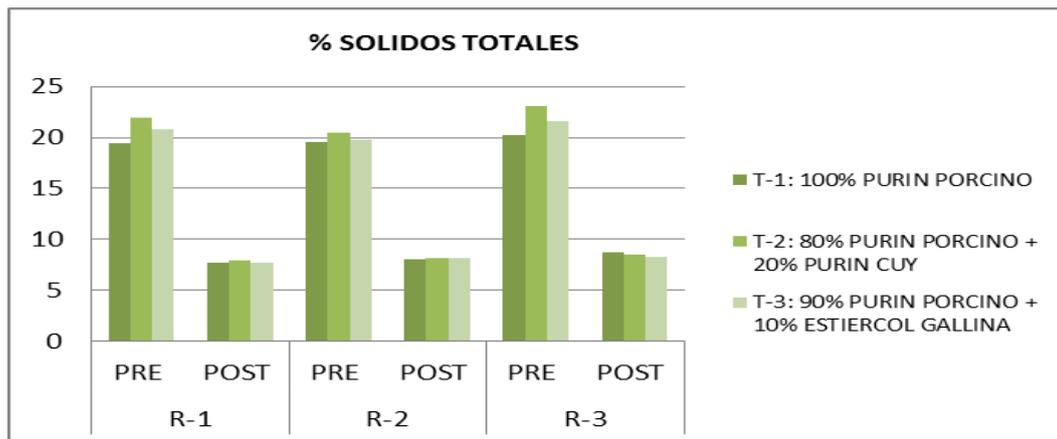


Figura 26: Porcentaje de Solidos Totales Pre y Post Tratamiento

Los datos obtenidos dan como resultado que los sólidos totales fueron removidos mejor de lo esperado, pero aún existe material no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos. Los análisis de sólidos totales son importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico.

En el análisis de laboratorio de la remoción de solidos totales post tratamiento, representa desde el 56.93% hasta 63.93%. Siendo los más altos porcentajes para el tratamiento 2 y los menores para el tratamiento 3 respectivamente.

#### 4.1.6. SOLIDOS SUSPENDIDOS PRE Y POST TRATAMIENTO

En el cuadro se presenta el porcentaje de sólidos suspendidos en las muestras de purín pre y post tratamiento.

Tabla 17: Determinación de Solidos Suspendidos.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	17.7	7.9	17.1	7.7	16.8	7.8
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	18.2	8.1	17.3	7.4	17.1	7.3
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	17.5	7.8	16.4	7.5	16.6	7.7

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

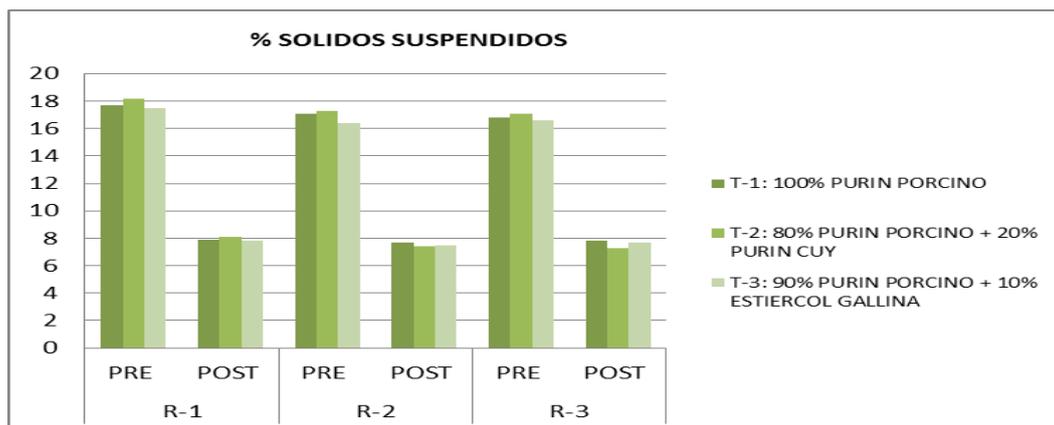


Figura: 27 Comparación de Solidos Suspendidos Pre y Post Tratamiento

Presenta la remoción de los valores de sólidos suspendidos post-fermentación desde 53.61% hasta 55.49%, para los tratamientos 1,2 y 3 respectivamente, lo que sugiere que el desecho post tratamiento presenta material orgánico no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos.

#### 4.1.7. SOLIDOS VOLATILES PRE Y POST TRATAMIENTO

En el cuadro se presenta el porcentaje de solidos volátiles en las muestras del purín pre y post tratamiento.

Tabla 18: Determinación de Solidos Volátiles.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	12.7	5.2	12.1	5.1	12.3	5.6
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	14.1	5.3	13.2	5.2	13.9	5.3
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	13.8	5.4	12.7	5.6	13.2	5.5

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

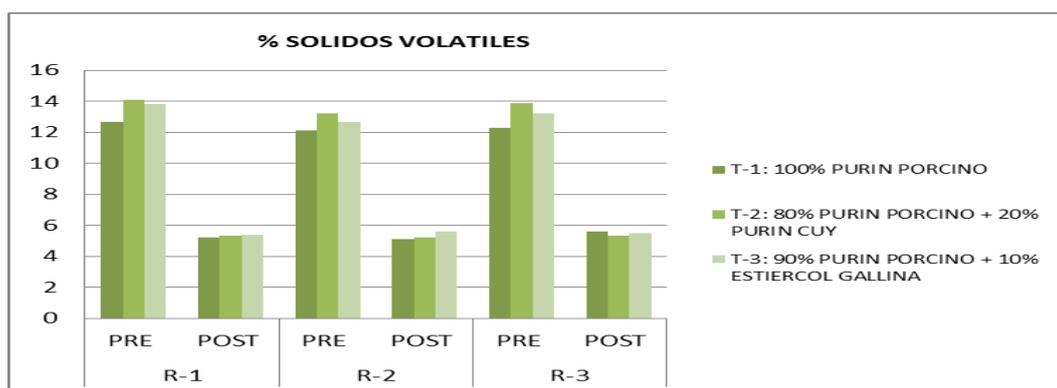


Figura 28: Determinación de Sólidos Volátiles en el Purín.

En la figura se representa la remoción de sólidos volátiles para el sustrato post fermentación de los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. En las cuales nos indica que el rango de remoción de sólidos volátiles obtenido en el análisis de los purines es de 54.47% hasta 62.41%, lo que indica que la mezcla purín y agua dentro del biodigestor, presenta material orgánico no del todo digerido por los microorganismos anaeróbicos.

#### 4.1.8. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO PRE Y POST TRATAMIENTO.

Un parámetro importante dentro de la digestibilidad de la materia orgánica es la demanda biológica de oxígeno (DBO5) que es el consumo de oxígeno en g/L de suspensión por acción de microorganismos.

Tabla 19. Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5).

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	53	7.4	54	8.1	53	7.9
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	55	7.1	55	8.1	55	7.7
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	53	7.3	54	7.7	54	8.1

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

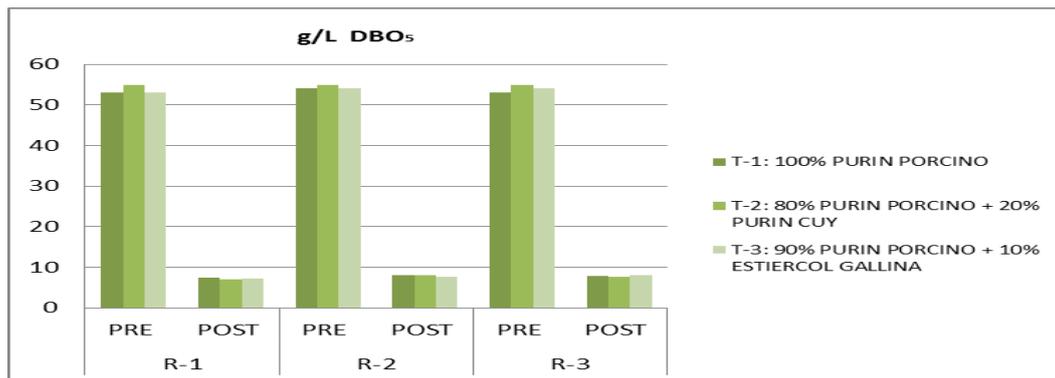


Figura 29: Comparación de DBO5 Pre y Post Tratamiento.

Este parámetro es proporcional al contenido de materia orgánica en la suspensión a degradar y representa la degradabilidad de la misma. Con valores de reducción de carga contaminante de un 60 y 90% post tratamiento, dependiendo del tiempo de que permanezca el residuo en el biodigestor y de la temperatura según revisión bibliográfica de otros estudios.

La reducción de la degradabilidad de la materia orgánica para los tratamientos en estudio es del 85.10% hasta el 87.09%. Estos valores están dentro del rango porcentual para la degradabilidad de la DBO5.

#### 4.1.9. NITROGENO PRE Y POST TRATAMIENTO

En el caso de nitrógeno buena parte del mismo presente en el estiércol en forma de moléculas es convertido en formas más simples como el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta.

Tabla 20: Determinación de Nitrógeno.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	1.1	1.6	1.2	1.7	0.9	1.4
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	1.3	1.7	1.4	1.8	1.3	1.6
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	1.2	1.6	1.2	1.7	1.1	1.6

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA - PUNO

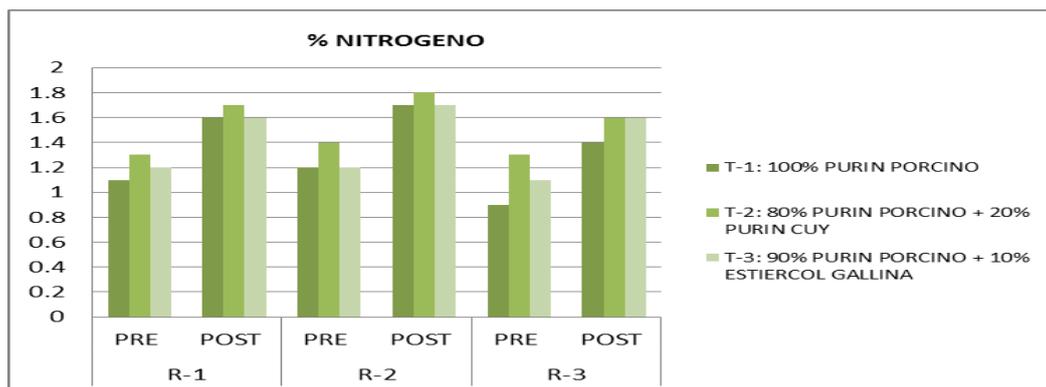


Figura 30: Comparación de Nitrógeno Pre y Post Tratamiento.

De acuerdo a la figura se indican las variaciones de nitrógeno en el transcurso del proceso anaeróbico. Hay que tener en cuenta que en los casos donde el purín es secado el medio ambiente, es decir si no se le da un tratamiento biológico se pierde alrededor del 50% de nitrógeno.

De acuerdo al gráfico, como consecuencia de la digestión anaeróbica, las proteínas (nitrógeno orgánico), aminoácidos y urea presentes en el sustrato son transformados en parte a nitrógeno total, es por esto que existe un incremento de tal elemento.

#### 4.1.10. FOSFORO PRE Y POST TRATAMIENTO

Tabla 21: Determinación de fosforo.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	0.9	0.36	0.85	0.36	0.9	0.36
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	1	0.39	1	0.38	1	0.39
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	0.9	0.37	0.9	0.38	1	0.37

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

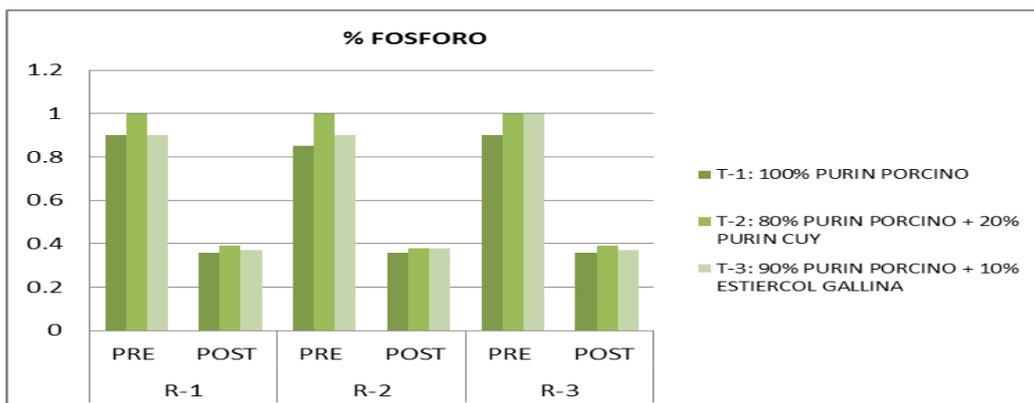


Figura 31: Comparación de Fosforo Pre y Post Tratamiento

De acuerdo a la figura, la disminución del porcentaje del fosforo podría deberse, a que parte del fosforo es transformado por reducción biológica y/o asimilado por los microorganismos que actúan en el proceso de fermentación anaeróbica.

#### 4.1.11. POTASIO PRE Y POST TRATAMIENTO

Tabla 22: Determinación de potasio.

	R-1		R-2		R-3	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
T-1: 100% PURIN PORCINO	2	0.04	2.1	0.04	2.1	0.03
T-2: 80% PURIN PORCINO + 20% PURIN CUY	2.2	0.05	2.1	0.04	2.2	0.04
T-3: 90% PURIN PORCINO + 10% ESTIERCOL GALLINA	2.1	0.04	2.1	0.04	2	0.04

FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Química UNA – PUNO

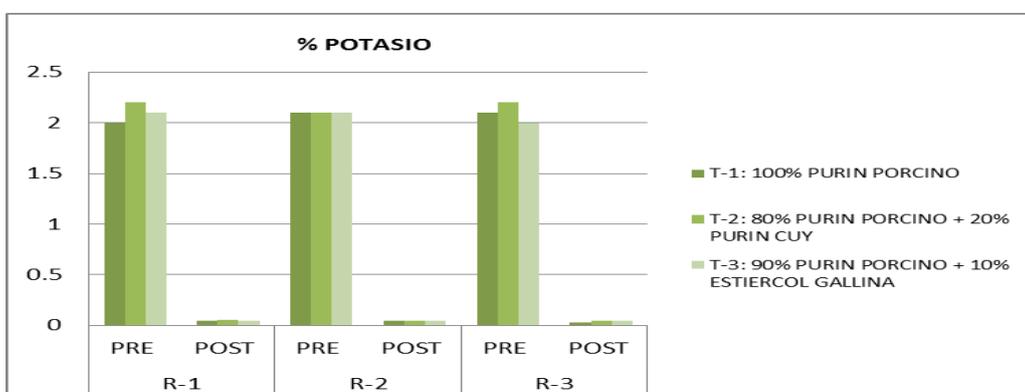


Figura 32: Comparación de Potasio Pre y Post Tratamiento.

Estos valores podrían deberse, a que parte del potasio es transformado por reducción biológica y/o asimilado por los microorganismos que actúan en el proceso de fermentación anaeróbica.

#### 4.1.12. CONTROL DIARIO DE PH

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 1: R-1

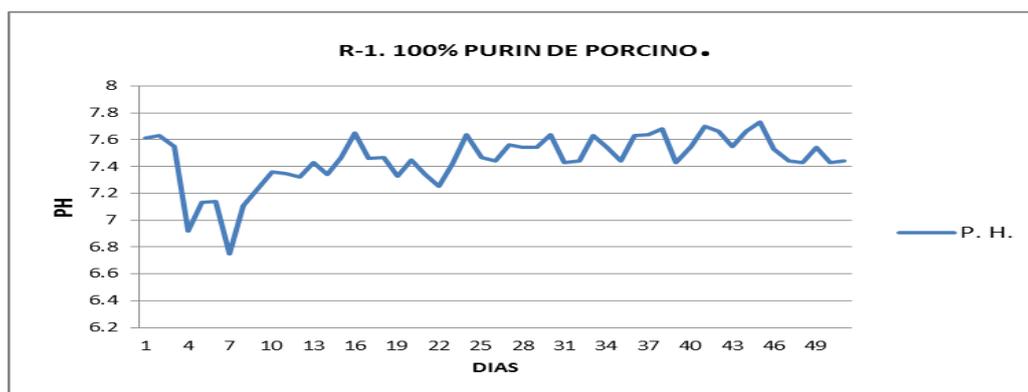


Figura 33: Control de pH del T-1: R-1.

En el control de pH de R-1, del primer tratamiento el promedio de control diario es de 7.45, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 1: R-2

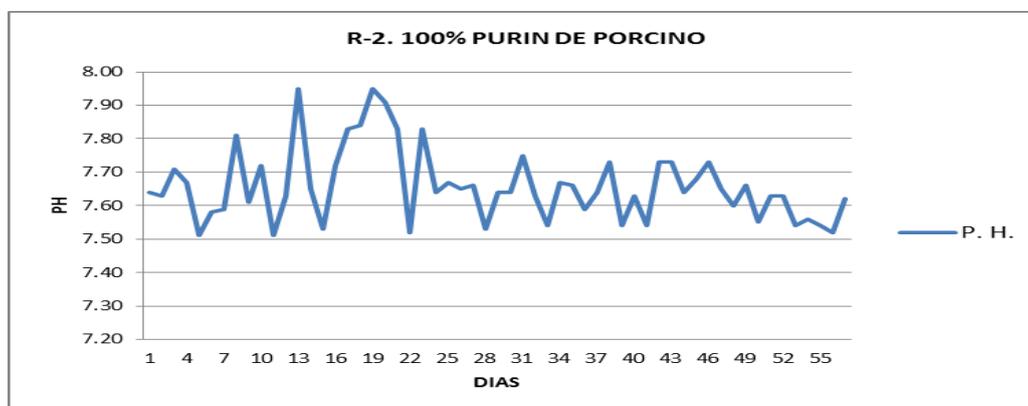


Figura 34: Control de pH del T-1: R-2.

En el control de pH de R-2, del primer tratamiento el promedio de control diario es de 7.65, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 1: R-3

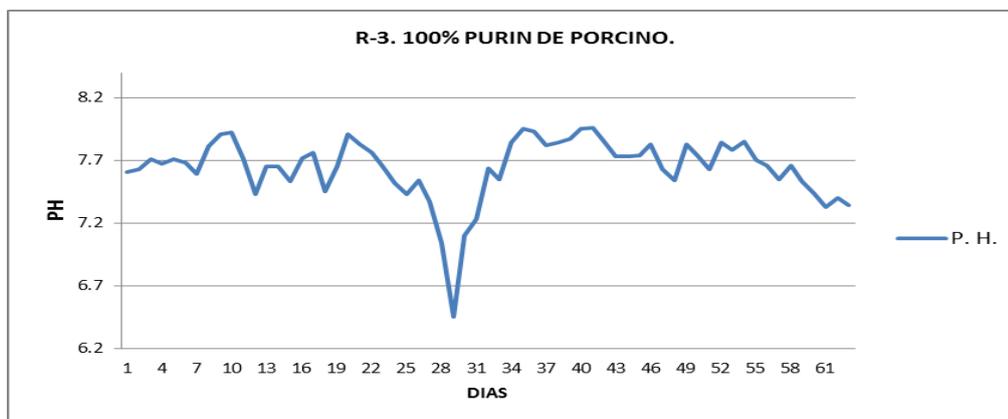


Figura 35: Control de pH del T-1: R-3.

En el control de pH de R-3, del primer tratamiento el promedio de control diario es de 7.64, cuyo promedio de los valores se encuentra dentro del rango optimo para la biodigestion anaerobica a excepci3n del dia 29vo dia que llega a bajar a 6.45 lo cual dificult3 en el proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 2: R-1

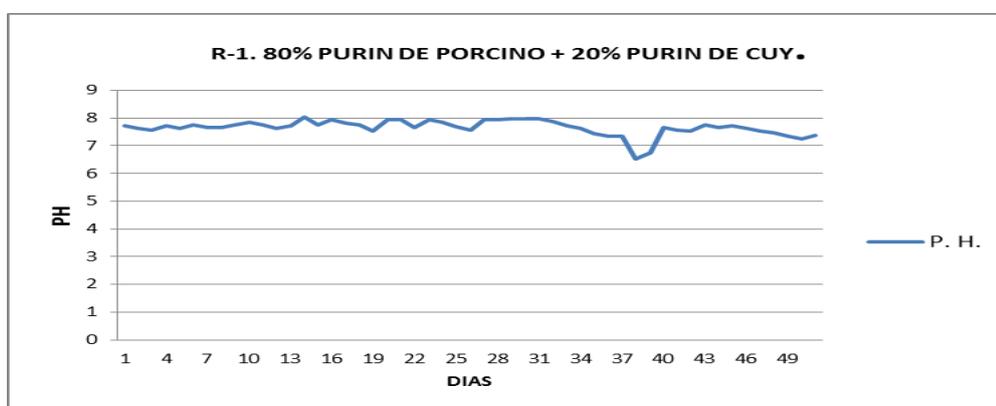


Figura 36: Control de pH del T-2: R-1.

En el control de pH de R-1, del segundo tratamiento el promedio de control diario es de 7.65, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 2: R-2

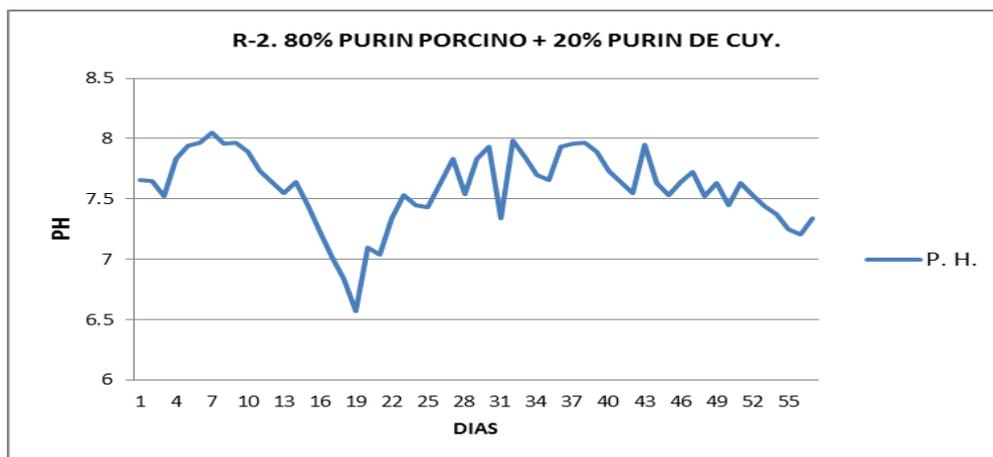


Figura 37: Control de pH del T-2: R-2.

En el control de pH de R-2, del segundo tratamiento el promedio de control diario es de 7.59, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico a excepcion del dia 19 que registro 6.57 que dificultó de manera casi insignificante en el proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 2: R-3

Figura 38: Control de pH del T-2: R-3.

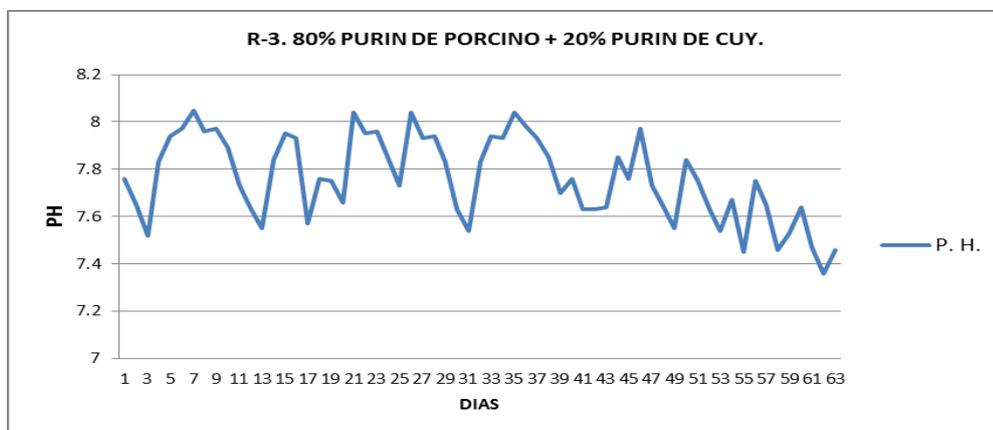


Figura 38: Control de pH del T-2: R-3.

En el control de pH de R-3, del segundo tratamiento el promedio de control diario es de 7.76, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 3: R-1

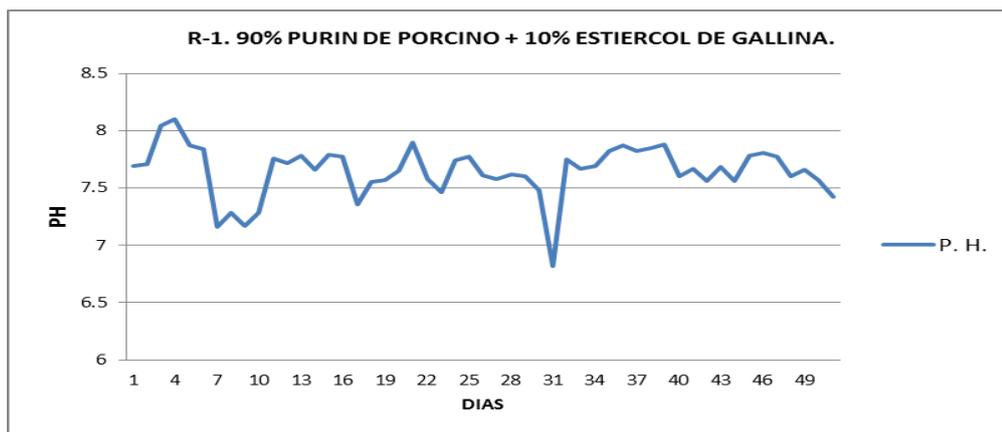


Figura 39: Control de pH del T-3: R-1.

En el control de pH de R-1, del tercer tratamiento el promedio de control diario es de 7.65, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 3: R-2

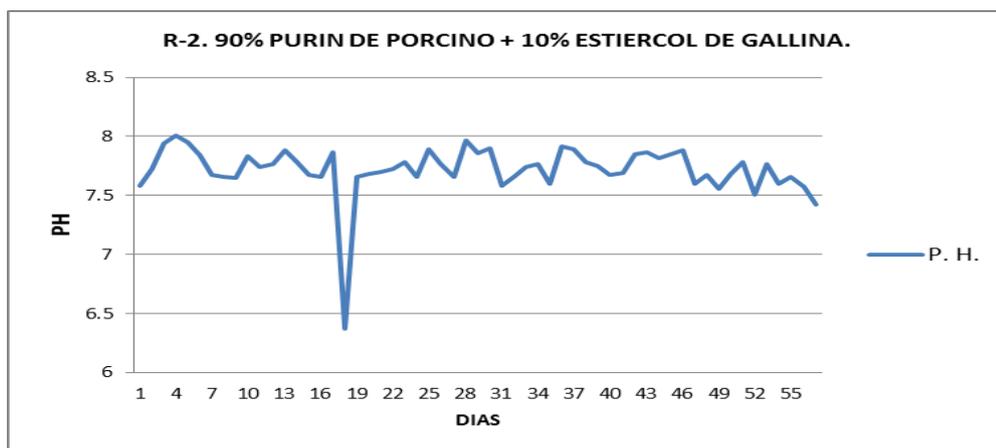


Figura 40: Control de pH del T-3: R-2.

En el control de pH de R-2, del tercer tratamiento el promedio de control diario es de 7.71, el cual registro el 4to dia 8.01 cuando la marcha de la biodigestion estaba en blanco y el 18vo dia 6.37 el cual dificultò de manera significativa en el proceso de biodigestion anaerobico.

➤ CONTROL DE PH TRATAMIENTO 3: R-3

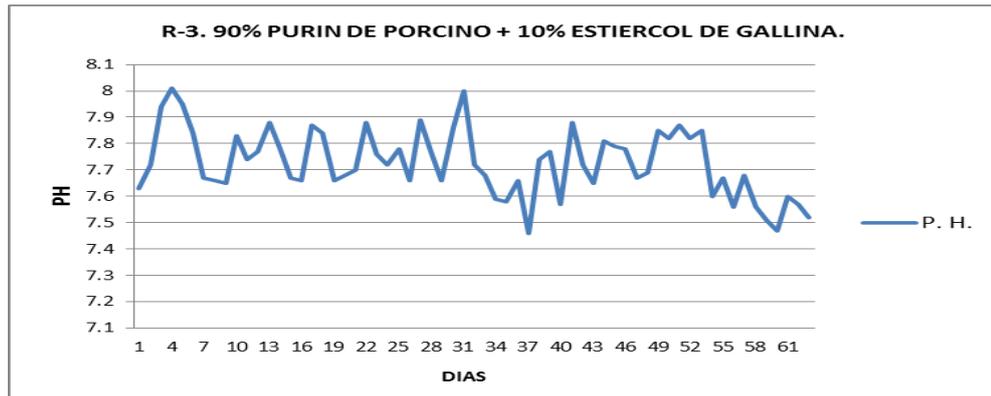


Figura 41: Control de pH del T-3: R-3

En el control de pH de R-3, del tercer tratamiento el promedio de control diario es de 7.72, el cual se ha mantenido dentro del margen del proceso anaerobico a excepcion del 31vo dia que llego a registrar 8.0 que dificulto de manera notaria en la produccion de biogas.

4.1.12.1. CONTROL DE TEMPERATURA

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 1: R-1

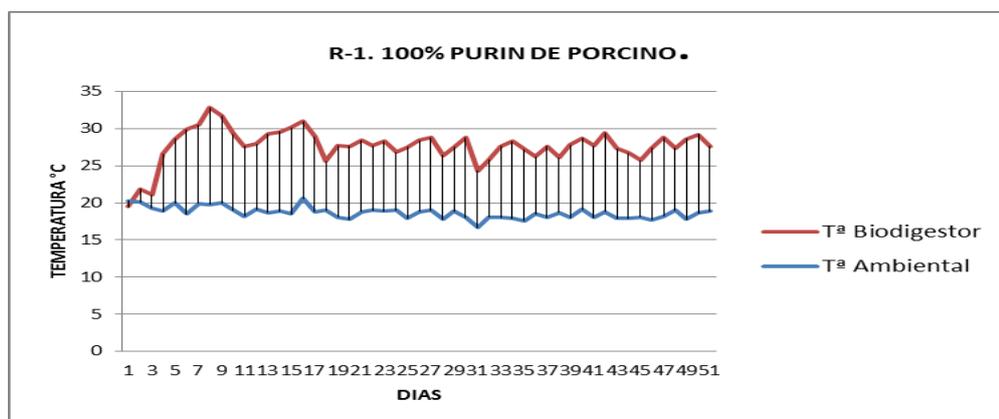


Figura 42: Control de temperatura del T-1: R-1.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-1 del primer tratamiento, difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 18.6°C y 27.7°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 1: R-2

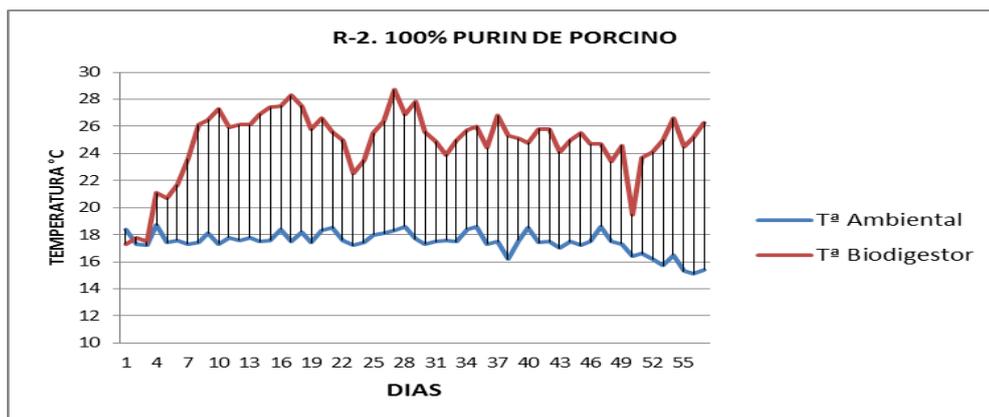


Figura 43: Control de temperatura del T-1: R-2.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-2 del primer tratamiento, difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 17.4°C y 24.8°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 1: R-3

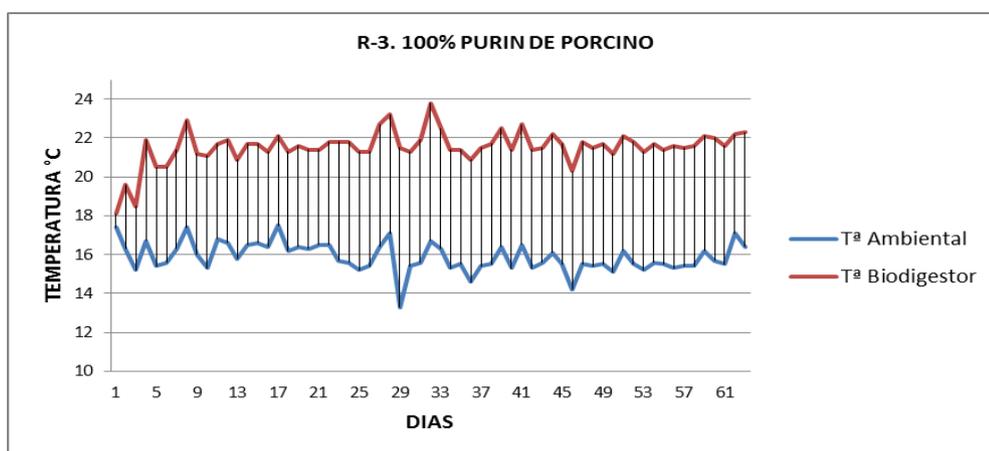


Figura 44: Control de temperatura del T-1: R-3.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-3 del primer tratamiento, difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 15.9°C y 21.5°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 2: R-1

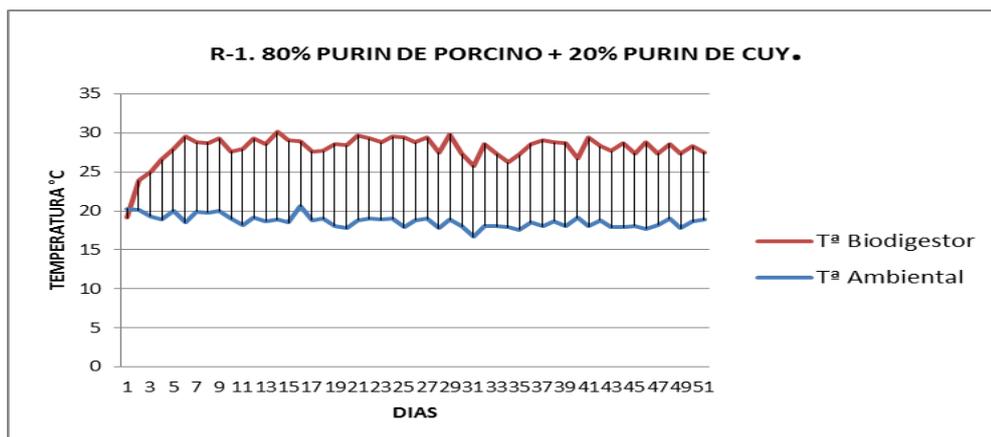


Figura 45: Control de temperatura del T-2: R-1.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-1 del segundo tratamiento difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 18.6°C y 28.0°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 2: R-2

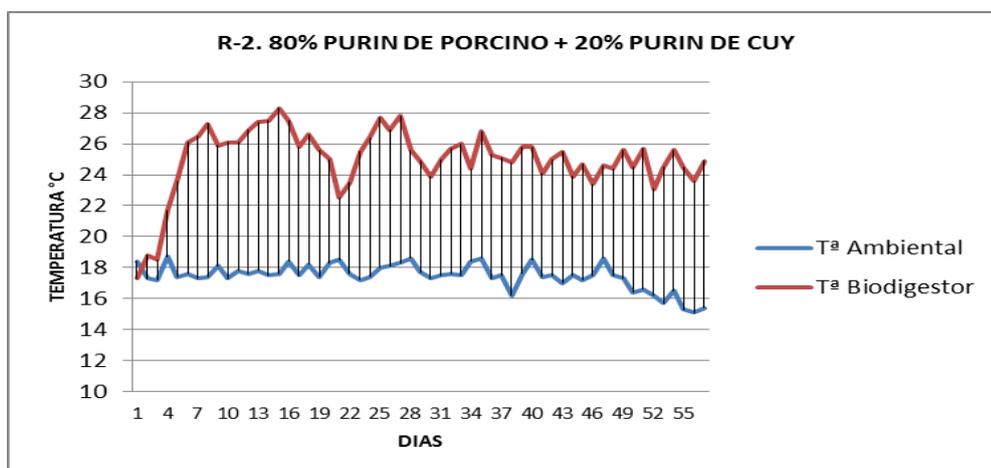


Figura 46: Control de temperatura del T-2: R-2

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-2 del segundo tratamiento, los resultados difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 17.4°C y 25.0°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 2: R-3

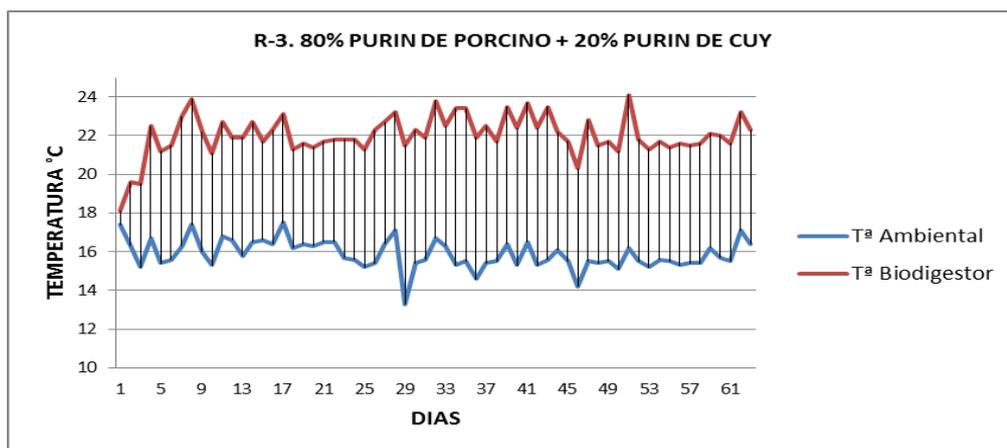


Figura 47: Control de temperatura del T-2: R-3.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-3 del segundo tratamiento, difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 15.9°C y 22.0°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 3: R-1

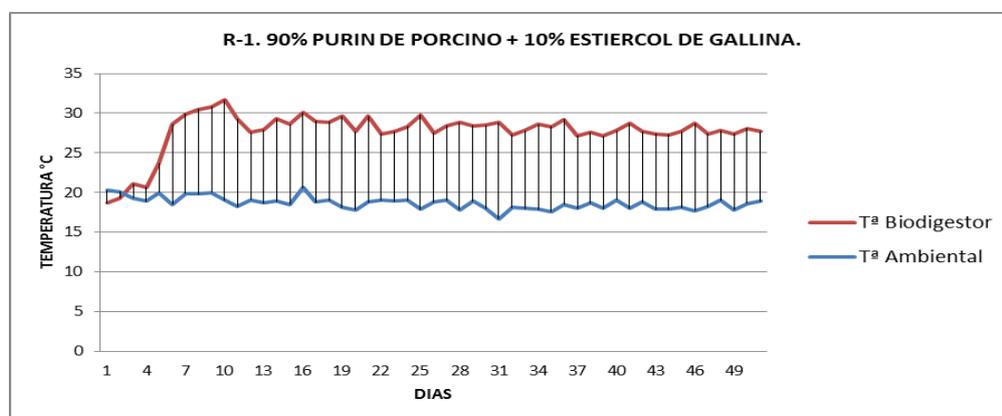


Figura 48: Control de temperatura del T-3: R-1.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-1 del tercer tratamiento, difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 18.6°C y 27.7°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 3: R-2

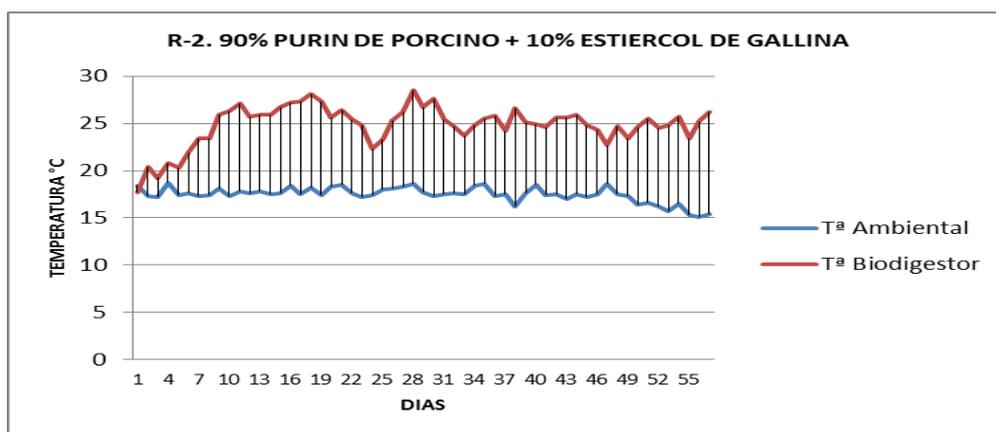


Figura 49: Control de temperatura del T-3: R-2

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-2 del tercer tratamiento difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 17.4°C y 24.8°C respectivamente.

➤ CONTROL DE TEMPERATURA TRATAMIENTO 3: R-3

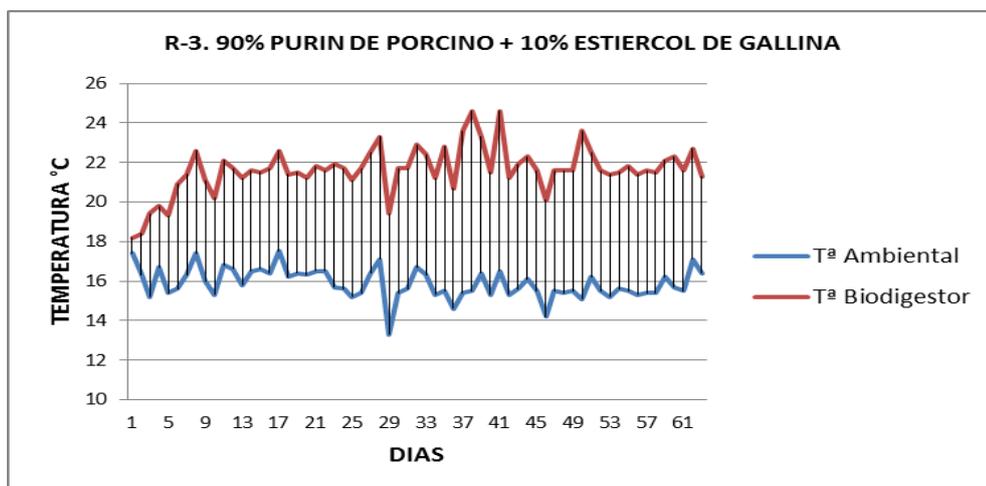


Figura 50: Control de temperatura del T-3: R-3.

En el control de Temperatura Ambiental y Temperatura dentro del Biodigestor de R-3 del tercer tratamiento difieren uno del otro siendo los promedios de control diario 15.9°C y 21.6°C respectivamente.

#### 4.2. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS GENERADO POR LOS PURINES

Se ha tomado un aspecto importante que es la cantidad de biogás que se ha obtenido y a partir de esto se ha tomado en cuenta los siguientes resultados que se han logrado obtener para su análisis como son:

- ✓ Cantidad de purín ensayada
- ✓ Mezcla del compuesto (Tratamientos)
- ✓ Temperatura (Ambiental y dentro del Biodigestor)
- ✓ PH de la mezcla
- ✓ Tiempo de retención

Para la preparación de la carga al T-1, T-2 Yt-3 se midieron el purín de las granjas utilizando 150 litros en total de materia orgánica y se agregó 150 litros de agua para cada biodigestor, carga única al biodigestor, teniendo en cuenta en este caso una relación purín y agua de 1:1.

##### 4.2.1. MEDICION DE BIOGAS EN VOLUMEN

Para realizar el análisis del gas producido ha sido medido respecto al volumen total del contenedor implementado en el biodigestor, estimando la capacidad ocupada por el biogás producido por el componente que se encuentra generando el biogás.

Para ello se ha utilizado la formula siguiente:

$$V = \pi * r^2 * H$$

V= Volumen

$\pi$  = constante 3.141592

r = radio de la circunferencia

H = Altura del cilindro.

Para la determinar el volumen del gasómetro se midió el largo de la tubería, 0.8m y un radio de 0.10 m:

$$V = \pi * (0.1\text{m})^2 * 0.8 \text{ m} = 0.025 \text{ m}^3 \text{ por ciclo de llenado.}$$

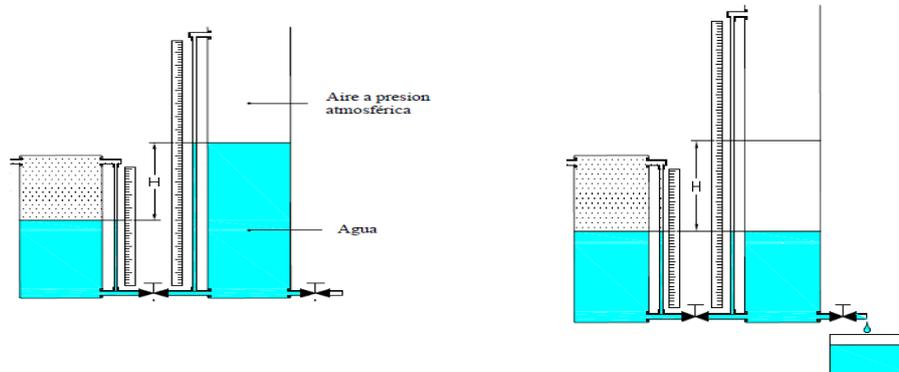


Figura 51: Medidores de volumen de biogás

#### 4.2.2. CONTROL DE VOLUMENES DE BIOGAS DE LOS TRATAMIENTOS



Figura 52: Producción de biogás.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 1: R-1

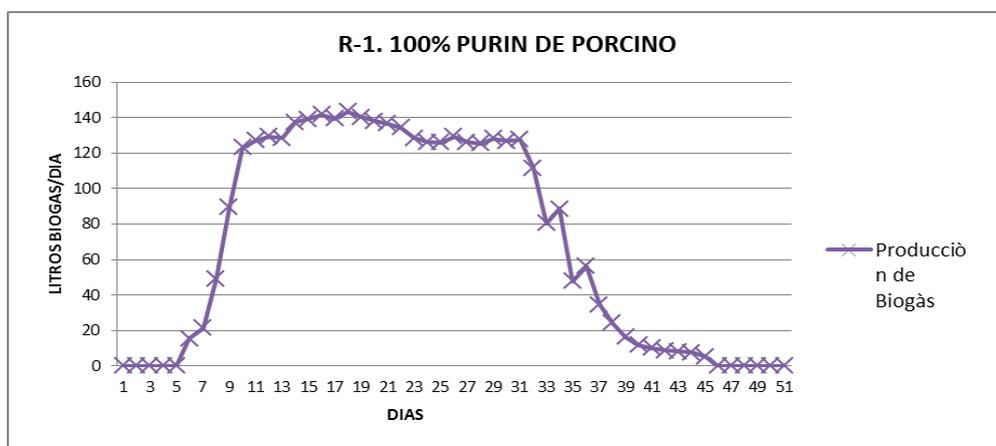


Figura 53: Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-1

En el control de Produccion de biogas de R-1 del primer tratamiento se genera 23.91 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso de anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 140.5 Lt que corresponde al 18vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 45 dias de 3,586.9 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 1: R-2

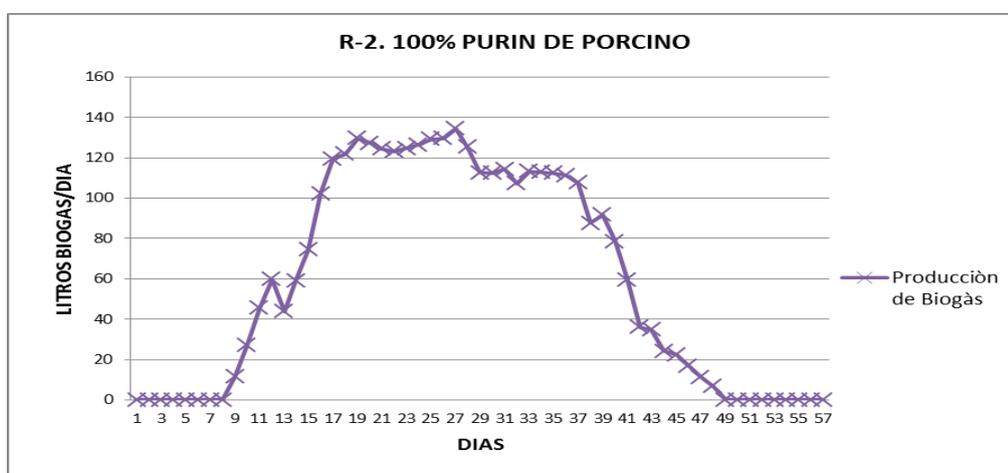


Figura 54: Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-2

En el control de Produccion de biogas de R-2 del primer tratamiento, se genera 22.76 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso de anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 134.5 Lt que corresponde al 27vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 48 dias de 3,413.5 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 1: R-3

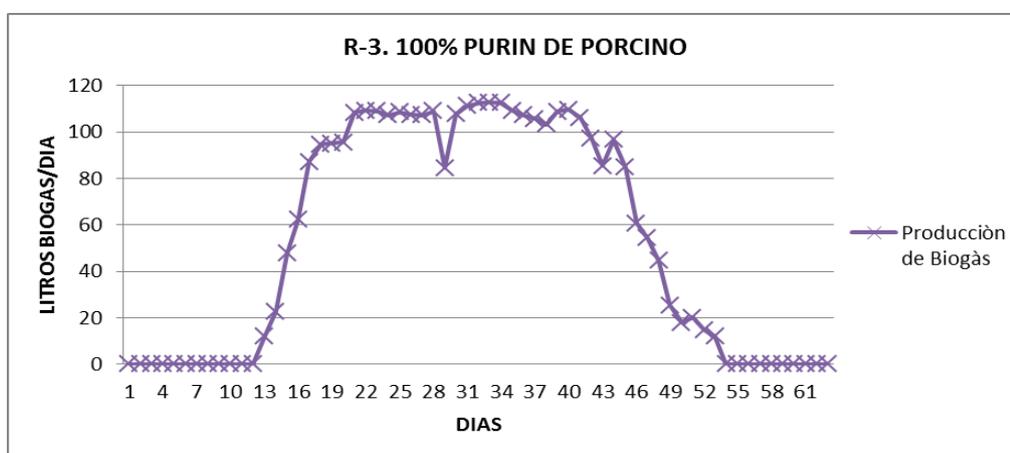


Figura 55: Volumen de biogás por el tiempo de retención T-1: R-3

En el control de Produccion de biogas de R-3 del primer tratamiento se genera 22.30 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso de anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 112.7 Lt que corresponde al 33vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 53 dias de 3,345.1 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 2: R-1

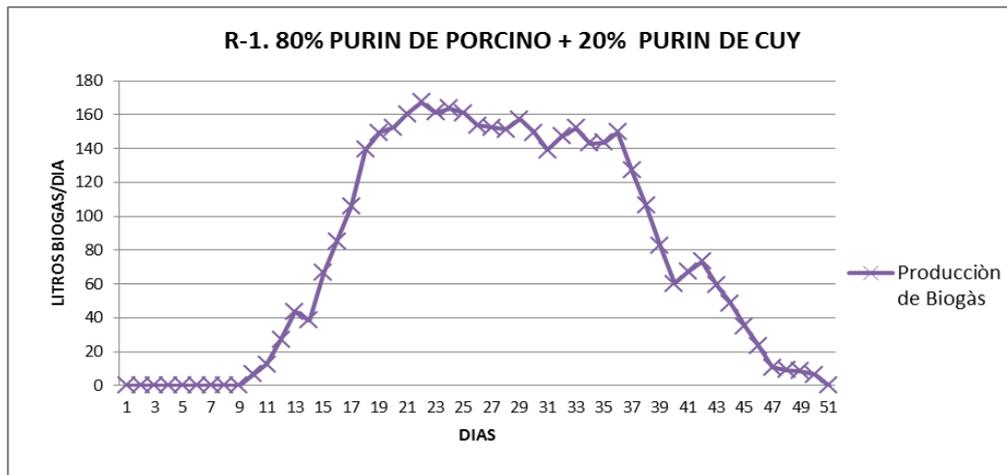


Figura 56: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-2: R-1

En el control de Produccion de biogas de R-1 del segundo tratamiento se genera 26.66 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 167.6 Lt que corresponde al 22vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 50 dias de 3,999.6 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 2: R-2

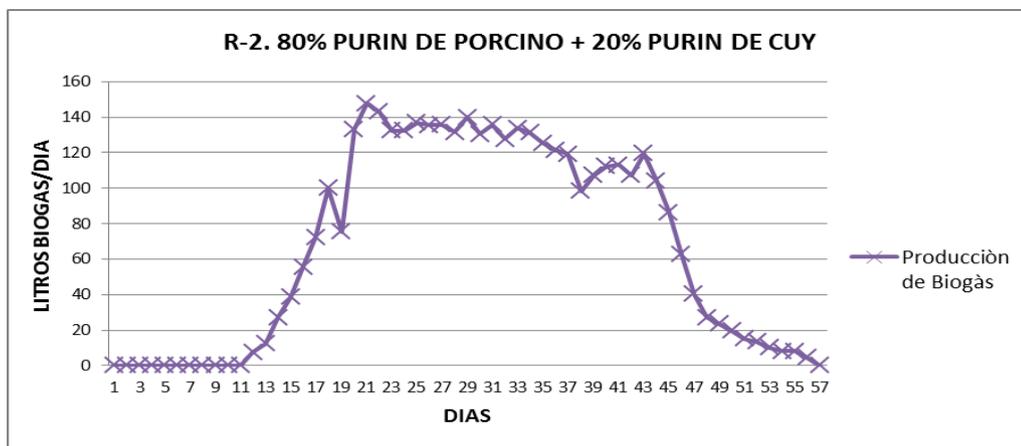


Figura 57: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-2: R-2

En el control de Produccion de biogas de R-2 del segundo tratamiento se genera 25.75 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 142.9 Lt que corresponde al 22vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 56 dias de 3,862.2 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 2: R-3

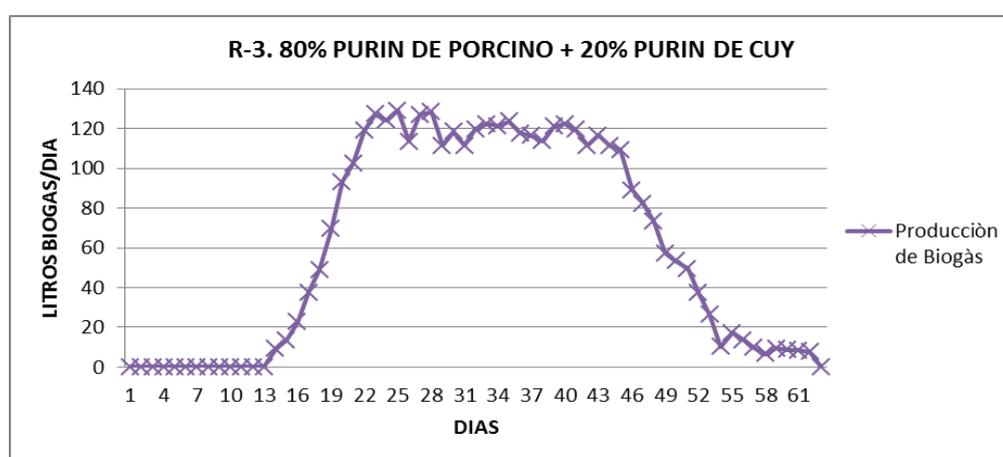


Figura 58: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-2: R-3

En el control de Produccion de biogas de R-3 del segundo tratamiento se genera 25.26 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 128.4 Lt que corresponde al 28vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 62 dias de 3,790.0 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 3: R-1

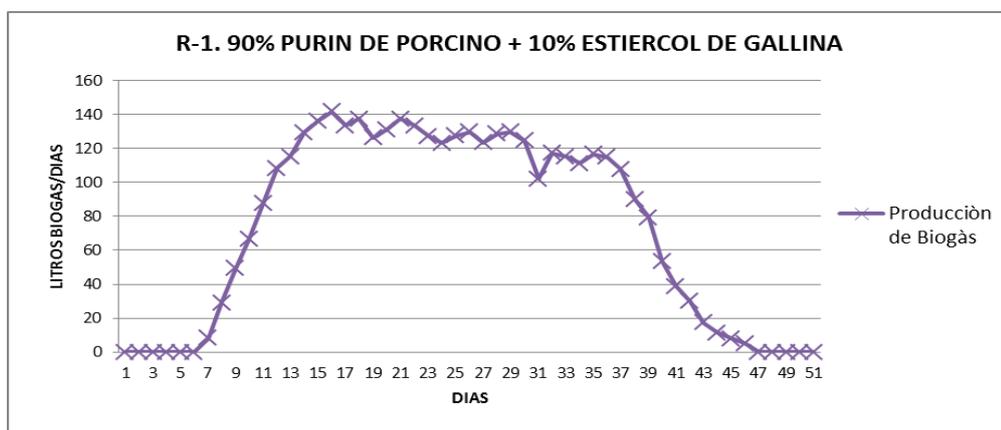


Figura 59: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-3: R-1

En el control de Produccion de biogas de R-1 del tercer tratamiento se genera 25.36 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 141.7 Lt que corresponde al 16vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 46 dias de 3,803.9 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 3: R-2

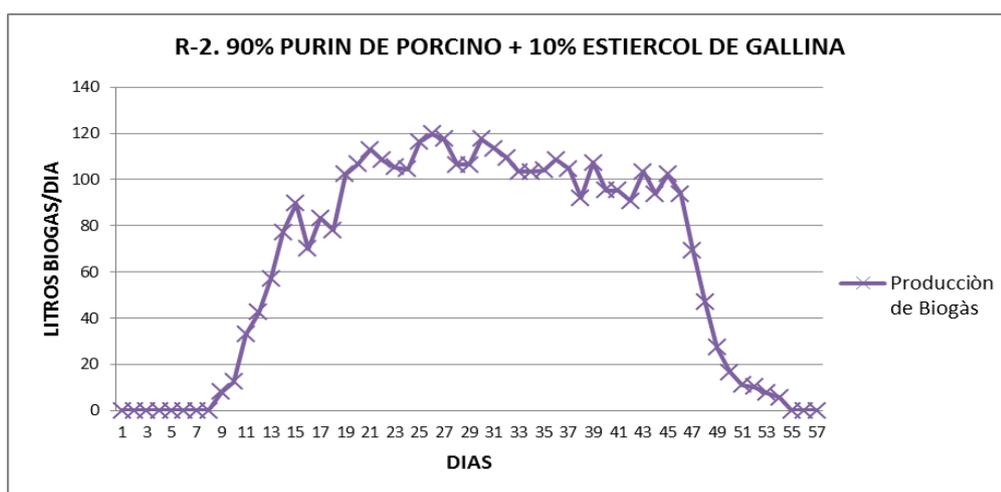


Figura 60: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-3: R-2

En el control de Produccion de biogas de R-2 del tercer tratamiento se genera 24.61 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 119.7 Lt que corresponde al 26vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 54 dias de 3,690.9 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

➤ CONTROL DE VOLUMEN DE BIOGAS TRATAMIENTO 3: R-3

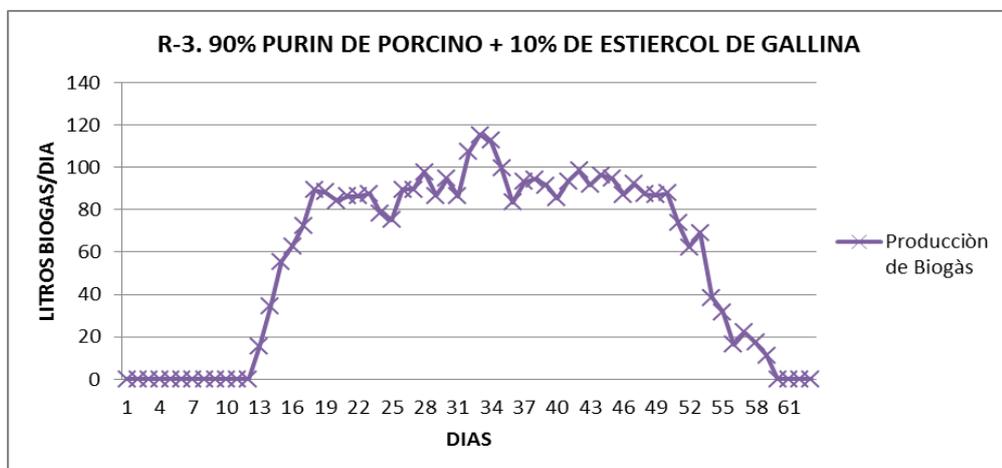


Figura 61: Volúmenes de biogás por el tiempo de retención T-3: R-3

En el control de Produccion de biogas de R-3 del tercer tratamiento se genera 24.01 Lt Biogas/ Lt Purin durante el tiempo de retencion dentro del proceso anaerobico. Siendo el valor maximo reportado 115.3 Lt que corresponde al 33vo dia del proceso de digestion anaerobico. Se tiene una produccion total de biogas en un tiempo de 59 dias de 3,601.3 litros. Los datos reportados diariamente de biogas se encuentran en el ANEXO B.

#### 4.2.3. DISEÑO DE ANALISIS ESTADISTICO

Producción de biogás.

Se ha trabajado con tres tratamientos (T-1, T-2 y T-3), y tres repeticiones (sistema discontinuo), con un diseño de bloque completamente al azar, teniendo los tratamientos el tipo de sustrato para la generación de biogás:

T1 = 100% Purín de Porcino

T2 = 80% Purín de Porcino + 20% purín de cuy.

T3= 90% Purín de porcino + 10% estiércol de gallina.

Tabla 23. Diseño de biodigestores

PARAMETROS	TRATAMIENTOS		
	Volumen Neto (Lt)	300	300
Volumen de Agua (lt)	150	150	150
Volumen de purín (Lt)	150	150	150

Fuente: Información Propia

La aplicación se ha realizado por el sistema batch o discontinuo.

Las mediciones se realizaron en gasómetros, los cuales son resultado de una carga de 300 litros de purín en cada biodigestor.

El ANVA del diseño completamente al azar resulta significativo para un 95% nivel de confianza de las tres mediciones de gas generado, esto nos indica que la producción de biogás entre los tratamientos se diferencian estadísticamente (ver ANEXO C).

Tabla 24. DATOS DE GENERACION DE BIOGAS (Lt Biogás/Lt Purín)

	R-1	R-2	R-3	X	TOTAL
T-1	23.91	22.76	22.30	22.99	68.97
T-2	26.66	25.75	25.26	25.89	77.67
T-3	25.36	24.61	24.01	24.66	73.98
				<b>73.54</b>	<b>220.62</b>

Fuente. Información Propia

Análisis de varianza de la tabla 24

F de V	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Ft 0.05	Sig.
Tratamientos	2	12.71	6.35	11.56	5.14	*
Error	6	3.29	0.54			
Total	8	16.01				

FUENTE: Información propia.

Se concluye que si existe diferencia entre tratamientos al 95% de nivel de confianza, como se muestra que  $F_c$  es  $11.56 > 5.14 F_t$ , lo que indica que si hay diferencia significativa.

### 4.3. CONSUMO DE BIOGÁS

#### 4.3.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez que se haya obtenido el biogás, se ha procedido a realizar la prueba de la llama, una vez que esta es óptima y de buena calidad se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento y comparación del mismo con el GLP con la instalación de equipos para una cocina de una hornilla.



FIGURA 62. Prueba de funcionamiento de biogás.

#### 4.3.2. CONSUMO DE BIOGAS CON RELACION AL GAS LICUADO DE PETROLEO.

##### ➤ CONSUMO DE BIOGAS

Para determinar el consumo de biogás utilizado para calentar 8 litros de agua a 90°C, para ello se utilizó una bolsa de polietileno la cual se la pesó vacía, y posteriormente se la lleno con biogás.



FIGURA 63. Recolección de biogás en el recipiente

Peso inicial del recipiente de prueba = 0.50 Kg.

Tiempo en calentar 8 litros de agua = 23 minutos y 18 seg

Peso final del recipiente de prueba = 0.39 Kg.

Consumo de biogás = 0.11 Kg/0.38H

Consumo de biogás = 0.29 Kg/hora (Biogás)

CB = 0.29 Kg/hora



FIGURA 64. Prueba de calentamiento del agua a 90°C

Para determinar la cantidad de gas de uso doméstico, se procedió a pesar el balón de Gas Licuado de Petróleo, luego de calentar 8 litros de agua a 90°C se volvió a pesar el balón y así determinamos el consumo de GLP en kg por hora.

➤ CONSUMO DE GAS LICUADO DE PETROLEO

Peso inicial del balón de GLP = 9.01 kg

Tiempo en calentar 8 litros de agua = 17 min 14 seg

Peso final del balón de GLP = 8.96

Consumo de GLP = 0.03 kg/0.28h

Consumo de GLP = 0.11 Kg/h

CGLP = 0.11 Kg/hora

Relación de consumo = 0.29/0.11 = 2.64/1.0

$$1\text{m}^3 \text{ Biogás} = 0.45 \text{ Kg GLP}$$

$$1\text{kg GLP} = 2.20 \text{ m}^3 \text{ BIOGAS}$$

El poder calorífico del biogás es menor al del GLP e implica que se tarda en cocer los alimentos en más tiempo que cuando se realiza con el GLP.

#### 4.3.3. CALCULO DE CONSUMO DOMESTICO DE BIOGAS.

El consumo de una cocina domestica normal con las pruebas realizadas de acuerdo a los datos obtenidos se calcula la cocina domestica de una hornilla necesita 210 gr de biogás por hora.

Calculando:

$$C_d = \frac{1000 \text{ Lt}}{1.2 \text{ Kg}} * 0.29 \text{ Kg/h}$$

$$C_d = 241.7 \text{ Lt/h}$$

Del cual tenemos como resultado 241.7 Lt/Hora en una cocina domestica de una hornilla.

Considerando que una familia puede necesitar de 1.50 hasta 5.00 m<sup>3</sup> /biogás día (dimensión de la granja) para satisfacer sus necesidades energéticas básicas (cocción alimentos y calefacción de la granja).

La velocidad de producción de biogás es el parámetro que determina la rentabilidad del digestor. Bajos valores de velocidad (m<sup>3</sup> Biogás/m<sup>3</sup> digestor/día) determinan que para satisfacer las exigencias energéticas de los usuarios sea necesario construir un digestor más grande, con obvio aumento del capital inicial. El valor medio obtenido en la investigación ha sido en promedio de 0.24 m<sup>3</sup> biogás /m<sup>3</sup> digestor /día.

$$P_B = 0.24 \text{ m}^3 \text{ biogás /m}^3 \text{ digestor /día.}$$

Dónde:

$$P_B = \text{Producción de biogás /m}^3 \text{ biodigestor/día}$$

Con los valores de productividad encontrados en la investigación se necesitaría un biodigestor de 6.00 hasta 18.00 m<sup>3</sup>, valor suficientemente en términos de costo y espacio para permitir una difusión de la tecnología en la zona geográfica investigada.

#### 4.3.4. CALCULO DE ENERGIA QUE CONSUME Y NECESITA MENSUALMENTE LA GRANJA "JAYSON"

Consume:

Cocina domestica: 1 balón GLP = 10 Kg GLP mes

Necesidades:

Calefacción de Lechones: 2 balones GLP = 20 Kg GLP mes

Calefacción de pollos: 1 balón GLP = 10 Kg GLP mes

La cantidad que consume y necesita la granja "JAYSON" es de 40 Kg de GLP mensual.

$$\frac{40 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} * \frac{1 \text{ m3 Biogás}}{0.45 \text{ Kg GLP}} = 88.89 \frac{\text{m3 Biogás}}{\text{mes}}$$

De la operación deducimos que se necesita producir 2.96 m3 biogás/día equivalente a 3m3 Biogás/día.

Los 88.89 m3 de biogás por mes es la cantidad necesaria para la granja "JAYSON", para cubrir el 100% de consumo mensual de energía GLP.

#### 4.3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR EN BASE A LAS NECESIDADES DE LA GRANJA "JAYSON"

➤ **Cantidad de purín requerido.**

Para calcular la cantidad de purín que se necesita para producir 3m3 diarios de biogás, primero analizamos los resultados de laboratorio que se reportaron valores promedios de 0.20 Kg de solidos totales por kg de purín.

1Lt de purín = 0.20 kg de Solidos Totales

1 Lt de purín = 24 Lt de biogás

1 Kg Solidos Totales = 0.12 m3 biogás (18°C Temperatura Ambiental)

CP	=	3	$\frac{\text{m3 Biogas}}{\text{dia}}$	*	$\frac{1 \text{ Lt P}}{0.20 \text{ Kg ST}}$	*	$\frac{1 \text{ Kg ST}}{0.12 \text{ m3 Biogas}}$	=	125	$\frac{\text{Lt Purin}}{\text{dia}}$
----	---	---	---------------------------------------	---	---	---	--	---	-----	--------------------------------------

CP = 125 Lt Purín/ día

➤ **Cantidad de carga diaria al biodigestor**

Una vez determinado la cantidad de purín, se calcula el volumen total teniendo en cuenta que la dilución es de 1:1 (Purín: Agua)

Carga Diaria (CD) = CE + H2O

CD = 125 + 125

CD = 250 Lt de mezcla/día

CD = 0.25 m3 mezcla/día

➤ **Volumen del biodigestor.**

La cantidad de carga que ingresa al biodigestor es la suma de las cantidades de purín + agua.

A continuación el volumen de biogás se calcula:

$$V_B = P * TR * F_d$$

$V_B$  = Volumen del Biodigestor (m<sup>3</sup>)

$P$  = cantidad de purín que ingresa al Biodigestor (Lt/día)

$T_R$  = Tiempo de retención en base a datos de investigación en días.

$F_d$  = Factor de dilución del residuo.

El factor de dilución del residuo depende del tipo de sustrato, en nuestro caso la relación purín – agua (1-1) :  $F_d = 1:1$  (Purín: Agua).

$P$  = 125 Lt/día

$F_d$  = 2

$T_R$  = 51 días

Reemplazando valores tenemos:

$V_B = 125 \text{ Lt/día} * 51 \text{ días} * 2$

$V_B = 12.75 \text{ m}^3$

El volumen del biodigestor  $V_B$  calculado está basado en el tiempo de retención de la materia orgánica almacenada en su interior, la misma que será cargada de manera diaria la cantidad de 250 Lt de mezcla.

#### ➤ **Tanque de carga y descarga.**

Los tanques de carga y descarga permiten almacenar el sustrato antes y después de entrar y salir del biodigestor. El tanque de carga puede ser diseñado para dos veces la carga diaria, cuyo propósito es tener la suficiente capacidad de almacenamiento en caso de un problema con el biodigestor u otro componente de la planta.

$$V_{TC} = 2 * CD$$

Dónde:

$V_{TC}$  = Volumen de tanque de carga

$C_D$  = Carga Diaria

Tenemos:

$$V_{TC} = 2 * 250 \text{ Lt}$$

$$V_{TC} = 0.50 \text{ m}^3$$

### ➤ Volumen de reservorio o tanque de almacenamiento

La cantidad de biogás que se almacena depende de dos factores: consumo y aplicación que se le dé al biogás. El tanque de almacenamiento estará acondicionado en el mismo digestor.

Con los datos del experimento dimensionamos la relación volumen del digestor y el volumen del tanque de biogás:

$$T_A = V_B * P_B$$

Dónde:

$T_A$  = Tanque de almacenamiento de biogás.

$V_B$  = Volumen del biodigestor

$P_B$  = Producción de Biogás/m<sup>3</sup> biodigestor/día

Calculando:

$$T_A = 12.75 * 0.24$$

$$T_A = 3.06 \text{ M}^3$$

- Por lo tanto el Volumen Total del Biodigestor será:

$$V_{TB} = 12.75 + 3.06$$

$$V_{TB} = 15.81 \text{ M}^3$$

Biodigestor para satisfacer las necesidades energéticas de la granja "JAYSON", para cubrir el 100% de consumo de Gas Licuado de Petróleo.

### 4.3.6. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR EN BASE A LA DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA EN LA GRANJA “JAYSON”

➤ **Cálculo de la cantidad de estiércol**

$$E = NA \times PVP \times \frac{PE}{100}$$

Donde,

E =Estiércol en litros día (se asume que 1 kilogramo de estiércol tiene un volumen de un litro de acuerdo a la investigación ejecutada)

NA =Número de animales por especie en la granja Jayson.

Tabla 25. N° porcinos de la granja Jayson

CLASE DE ANIMAL	PESO VIVO (KG)	CANTIDAD	PESO VIVO TOTAL (KG)	PESO VIVO PROMEDIO (KG)
PORCINO	120	10	1200	50.29
	52	18	936	
	38	16	608	
	25	21	525	
<b>TOTAL</b>		<b>65</b>	<b>3269</b>	

Fuente: información propia

Tabla 26. N° de cuyes de la granja Jayson

CLASE DE ANIMAL	PESO VIVO (KG)	CANTIDAD	PESO VIVO TOTAL (KG)	PESO VIVO PROMEDIO (KG)
CUY	1.1	48	52.8	0.71
	0.7	73	51.1	
	0.5	86	43	
<b>TOTAL</b>		<b>207</b>	<b>146.9</b>	

Fuente: información propia

Tabla 27. N° de gallinas de la granja Jayson.

CLASE DE ANIMAL	PESO VIVO (KG)	CANTIDAD	PESO VIVO TOTAL (KG)	PESO VIVO PROMEDIO (KG)
GALLINA				1.0
	2.1	29	60.9	
	0.6	77	46.2	
<b>TOTAL</b>		<b>106</b>	<b>107.1</b>	

Fuente: información propia

PVP = Peso vivo promedio por animal

PVP = 50.29 KG. (**Porcino**).

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

PE = 2% (Tabla: 1)

$$E_1 = 65 \times 50.29 \text{ kg} \times 0.02$$

$$E_1 = \underline{65.38 \text{ litros/día}}$$

PVP = 0.71 KG. (**Cuy**).

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

PE = 3% (Tabla: 1)

$$E_2 = 207 \times 0.71 \text{ kg} \times 0.03$$

$$E_2 = \underline{4.41 \text{ litros/día}}$$

PVP = 1.01 KG. (**Gallina**).

PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

PE = 4.5% (Tabla: 1)

$$E_3 = 106 \times 1.01 \text{ kg} \times 0.045$$

$$E_3 = \underline{4.81 \text{ litros/día}}$$

Donde se obtiene el volumen total:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E_T = 65.38 + 4.41 + 4.81$$

$$E_T = \underline{74.58 \text{ litros/día}}$$

➤ **Calculo de la cantidad de orina**

$$O = NA \times PVP \times \frac{PO}{100}$$

Donde,

O = Orín día en litros

NA = Numero de animales por especie

PVP = 50.29 Kg (**Porcino**)

PO = Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo en litros.

PO = 3%. (Tabla: 1). Se asume para el cálculo 2%

$$O_1 = 65 \times 50.29 \text{ kg} \times 0,02$$

$$\underline{O_1 = 65.38 \text{ litros/día}}$$

PVP = 0.71 Kg (**Cuy**)

PO = Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo en litros.

PO = 1.5%. (Tabla: 1). Se asume para el cálculo 1.0%

$$O_2 = 207 \times 0.71 \text{ kg} \times 0,01$$

$$\underline{O_2 = 1.47 \text{ litros/día}}$$

PVP = 1.01 Kg (**Gallina**)

PO = Producción de orín por animal por día en porcentaje de peso vivo en litros.

PO = 4.5%. (Tabla: 1). Se asume para el cálculo 4%

$$O_3 = 106 \times 1.01 \text{ kg} \times 0,04$$

$$\underline{O_3 = 4.28 \text{ litros/día}}$$

Donde se obtiene el volumen total:

$$O_T = O_1 + O_2 + O_3$$

$$O_T = 65.38 + 1.47 + 4.28$$

$$\underline{O_T = 71.13 \text{ litros/día}}$$

➤ **Cantidad de purín para cargar**

$$P = E + O$$

Donde,

P = Cantidad de purín para carga en litros por día.

E = Estiércol en litros por día

O = Orín en litros por día.

$$P = 74.58 \text{ lt/día} + 71.13 \text{ lt/día}$$

$$\underline{P = 145.71 \text{ lt/día}}$$

Para el diseño asumimos 140 litros de Purín/día

➤ **Sólidos totales (st)**

$$ST = \frac{\%ST * P}{100}$$

Donde,

ST = Cantidad de sólidos contenidos en el purín para carga, en kilogramos por día.

%ST = 20 % (Promedio de análisis químico en la presente investigación)

P = Materia prima para carga en litros por día.

$$ST = (20.0 \times 140 \text{ litros/día})/100$$

$$\underline{ST = 28 \text{ kg/día}}$$

➤ **Masa de agua para la mezcla**

En este caso es necesario agregar agua ya que el %ST es 20% , la masa

de agua para mezcla debe disminuir hasta un 10% los sólidos totales:

$$H_2O = \frac{ST * 100}{10} - P$$

Donde,

H<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos totales, en kilogramos por día.

ST = Cantidad de sólidos totales contenidos en el purín para carga, en Kilogramos por día.

P = Purín para carga en kilogramos por día.

$$H_2O = \frac{28 * 100}{10} - 140$$

$$H_2O = 140 \text{ litros/día}$$

➤ **Carga diaria de la mezcla**

$$C = P + H_2O$$

Donde,

C = carga diaria para alimentar el digestor en litros por día

P = Purín para carga en litros por día.

H<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

$$C = 140 \text{ litros/día} + 140 \text{ litros/día}$$

$$C = 280 \text{ litros/día}$$

➤ **Volumen parcial del biodigestor.**

La cantidad de carga que ingresa al biodigestor es la suma de las cantidades de purín + agua.

A continuación el volumen de biogás se calcula:

$$V_B = C + T_R$$

$V_B$  = Volumen del Biodigestor (m<sup>3</sup>)

$C$  = cantidad de carga diaria de mezcla (Lt/día)

$T_R$  = Tiempo de retención en base a datos de investigación en días.

$C$  = 280 Lt/día

$T_R$  = 51 días

Reemplazando valores tenemos:

$V_B$  = 280 Lt/día \* 51 días

$V_B$  = 14.28 m<sup>3</sup>

El volumen del biodigestor  $V_B$  calculado está basado en el tiempo de retención del trabajo de investigación.

➤ **Tanque de carga y descarga.**

$$V_{TC} = 2 * C$$

Dónde:

$V_{TC}$  = Volumen de tanque de carga

$C$  = Carga diaria de mezcla

Tenemos:

$V_{TC} = 2 * 280 \text{ Lt}$

$V_{TC} = 0.56 \text{ m}^3$

➤ **Volumen de reservorio o tanque de almacenamiento**

La cantidad de biogás que se almacena depende de dos factores: consumo y aplicación que se le dé al biogás. El tanque de almacenamiento estará acondicionado en el mismo digestor.

Con los datos del experimento dimensionamos la relación volumen del digestor y el volumen del tanque de biogás:

$$T_A = V_B * P_B$$

Dónde:

$T_A$  = Tanque de almacenamiento de biogás.

$V_B$  = Volumen del biodigestor

$P_B$  = Producción de Biogás/m<sup>3</sup> biodigestor/día

Calculando:

$$T_A = 14.28 * 0.24$$

$$T_A = 3.42 \text{ M}^3$$

- Por lo tanto el Volumen Total del Biodigestor será:

$$V_{TB} = 14.28 + 3.42$$

$$V_{TB} = 17.7 \text{ M}^3$$

#### ➤ **Calculo de cantidad de biogás en base datos de la investigación.**

1Lt de purín = 0.20 kg de Solidos Totales

1 Lt de purín = 24 Lt de biogás

1 Kg Solidos Totales = 0.12 m<sup>3</sup> biogás (18°C Temperatura Ambiental)

140 lt purín = 3360 lt de biogás

28 kg Solidos Totales = 3.36 m<sup>3</sup>

<b>PRODUCCION DE BIOGAS = 3.36 M<sup>3</sup>/día</b>
--

Biodigestor en base a la disponibilidad de materia prima producida en la granja "JAYSON", que puede producir más de la cantidad de energía necesitada en la granja que puede servir para darle otros usos.

#### 4.3.7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Los flujos monetarios se determinan a en base a los costos de los combustibles utilizados para satisfacer las necesidades energéticas, y en este caso el biogás producido permite anular estos gastos generados mensualmente. Lo mismo puede ocurrir con el biol y el biosol que pueden sustituir a los fertilizantes comerciales, por supuesto que esto necesitaría un mayor estudio establecer equivalencias. El análisis monetario puede tener sentido lo en estos casos, porque son granjas, solo para abastecer el uso interno, no es para vender energía, lo que implicaría un análisis de costo desde otro punto de vista.

##### ➤ Análisis de la producción de biogás

Su valor monetario se calcula comparando con el Gas Licuado de Petróleo:

$$1\text{m}^3 \text{ Biogás} = 0.45 \text{ Kg GLP}$$

$$1\text{kg GLP} = 2.20 \text{ m}^3$$

1balon GLP 10 Kg es equivalente a 22.00 m<sup>3</sup> de biogás

La producción de biogás en el estudio es:

$$1 \text{ litro purín} = 24 \text{ litros biogás}$$

El precio de un balón de GLP de 10 kg en la ciudad de Moquegua es de 39.50 nuevos soles. De ello se obtiene un valor monetario para el biogás de 1.80 soles/m<sup>3</sup> biogás.

De acuerdo a la disponibilidad de materia prima

$$140 \text{ litros purín} = 3.36 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

$$\text{Beneficio anual biogás} = 2201.95 \text{ soles año}$$

Biol y biosol. Sin valor monetario

➤ **Presupuesto para la instalación**

Instalación completa: s/. 6,481.59. Seis Mil Cuatrocientos Ochenta y Uno con 59/100 Nuevos Soles. (ANEXO D: Análisis de costos y presupuesto).

➤ **Mantenimiento de materiales.**

El mantenimiento se debe realizar en lo que se refiere al sistema de conducción de biogás cada 4 años.

Evaluando los posibles materiales que pueden ser renovados, se obtiene:

Mantenimiento: 289.75 Nuevos Soles/4 años

Mantenimiento: 72.44 Nuevos Soles/año

➤ **Vida útil de la instalación**

De acuerdo a las especificaciones técnicas de los materiales incluidos el gasómetro (acumulador de biogás), tiene una durabilidad de 20 años, con excepción del sistema de conducción.

➤ **Análisis económico.**

Beneficios Netos: Ingresos – Gastos

BN = 2,201.95 – 72.44

BN = 2,129.51 Nuevos Soles /año

Recuperación de inversión inicial:

RI = 6,481.59/ 2,129.51

RI = 3.04 años

RI = 3 años y 15 días

➤ **Costo de producción por m3 biogás**

Es evidente que el análisis de costo de producción de m3 de biogas es muy parcial ya que se basa en los valores del estudio, la vida útil del biodigestor es aproximada.

$$\text{COSTO} = \frac{\text{INVERSION INICIAL} + (\text{MANTENIMIENTO} * \text{VIDA UTIL AÑOS})}{\text{PRODUCCION BIOGAS/DIA} * \text{VIDA UTIL DIAS}}$$

$$\text{COSTO} = \frac{6,481.59 + (72.44 * 20)}{3.36 * 7300}$$

Costo = 0.32 Nuevos Soles/m3 Biogás.

## CONCLUSIONES

- Los análisis post tratamiento del proceso anaeróbico presentan una remoción de ST del 56.93 a 63.93%, SV 54.47 a 62.41%, DBO5 de 85.10 a 87.09%, estos análisis demostraron que el proceso anaeróbico dentro de los biodigestores fue exitoso debido a la disminución de la carga orgánica y bacteriana, así como la producción de biogás. La producción de biogás baja a medida que disminuye la temperatura. El pH no fue determinante en los tratamientos puesto que estuvieron dentro de la zona de tolerancia.
- Mediante el experimento con los Tratamientos 1, 2 y 3 se determinaron las cantidades de biogás que generaron los 150 lt de purín de cada tratamiento y en cada repetición, con un tiempo de retención de 45 a 62 días dependiendo de cada tratamiento y repetición, a una temperatura de promedio de 20-27°C dentro de los biodigestores y temperatura ambiental media 18°C. Los volúmenes de biogás obtenido fueron para el T-1: 100% purín de porcino en promedio 22.99 Lts biogás/Lt Purín con un tiempo de retención de 50 días, T-2: 80% purín de porcino + 20% purín de cuy en promedio 25.89 Lt biogás/Lt Purín con un tiempo de retención de 56 días, y el T-3: 90% purín de porcino + 10% estiércol de gallina en promedio de 24.66 Lt biogás/Lt Purín con un tiempo de retención de 53 días.
- Se ha llegado a resultados satisfactorios como un balón de GLP de 10 kg es equivalente a 22 m<sup>3</sup> de Biogás, el consumo de la cocina domestica de una hornilla es de 241.7 Lt/hora. La materia prima generada por día en la granja "Jayson" puede producir 3.36 m<sup>3</sup> biogás/día, los cuales permiten afirmar que se puede sustituir el consumo de Gas Licuado de Petróleo y satisfacer más necesidades energéticas requeridas en la granja, así mismo cabe mencionar que la producción de 1m<sup>3</sup> de biogás tiene un costo de 0.32 Nuevos Soles. En general es posible sustituir el GLP por el biogás en el uso de las necesidades energéticas de las granjas en la zona de estudio.

## RECOMENDACIONES

- Permitir un seguimiento a la operación del sistema mediante el desarrollo de un proyecto de investigación más detallado a gran escala, que considere desarrollar un modelo de operación y diseño de la combinación biodigestores y sustratos existentes en la región.
- Definir costos e inversiones que permitan a nuestra región alcanzar los beneficios de la explotación de recursos energéticos localmente disponibles
- En la primera puesta en funcionamiento se debe realizar un barrido de la tubería de conducción de biogás, porque está mezclado con aire, por consiguiente puede ser explosivo y peligroso, por lo que se debe dejar escapar a la atmosfera.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AVILA, R. "Biotecnología y su aplicación". Editorial Erasur, México – 2002.
2. BART VAN HOOFF, NESTOR MONROY, ALEX SAENZ, "Producción más Limpia" – Paradigma de Gestión Ambiental. 2002
3. BIAVA, N. "Digestión anaerobia de fecas de conejos para la producción de biogás". Tesis B. Valdivia. Universidad Austral de Chile – 1998.
4. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA (CEPIS), "Digestores anaerobios" Lima – 2001., Disponible en <http://www.cepis.opsoms/eswww/proyecto/repidisc/publica/repidisc/index/in>
5. CHINOWETH D. FANNIN K. "Gasificación Biológica de Algas Marinas" Departamento de Agricultura e Ingeniería Biológica – Universidad de Florida. 2002.
6. COFRE, C. "Guía para la construcción y operación de una planta de Biogás, alimentada con lodos residuales de la industria carnea", tesis para optar el título de Constructor civil, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile – 2001.
7. DE LA FUENTE, E. "Estudio de la producción de biogás en una unidad experimental de relleno sanitario". Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Barcelona. España – 1995.
8. FAO. "Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas" CIPAV Fundación Centro

para Investigación en sistemas sostenibles de Producción Agropecuaria. 1996.

9. FAO. 1986 “Estudio Potencial bioenergético de desechos agroindustriales y agrícolas” Cali, Colombia. Seminario Taller sobre biogás y otras fuentes alternas de energía en el medio rural.
10. FAO. 2005 “Agricultura urbana: La agricultura urbana impulsa la seguridad alimentaria” <http://www.fao.org/>
11. FERNÁNDEZ, A. SÁNCHEZ, M. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. 2007 En [http://www.unido.org/fileadmin/import/72852\\_Gua\\_Gestin\\_Integral](http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral)
12. FLOTATS, Xavier. “Aprovechamiento energético de residuos ganaderos”. Departamento de Medio Ambiente. Universidad Lleida. 2007.
13. FLOTATS, Xavier. “Digestión anaerobia termofílica de purines de cerdo y lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas”. Congreso Ambiental. Bilbao – 1997.
14. FLOTATS, X., BONMATI, A., CAMPOS, E., TEIRA, R. “El proceso de secado de purines en el marco de Gestión Integral de Residuos Ganadero, Tratamiento de residuos ganaderos”, Enero, Madrid España. 2000.
15. GTZ. “Difusión de Tecnología de Biogás en Colombia”. Editorial GMBH, Cali. Colombia – 2007.
16. HIDALGO BONILLA, JOSE ALFREDO. “Aprovechamiento energético de biogás en el salvador”. El Salvador, 2010.

17. I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agrícola). s.f., “Manual para la Producción de Biogás”. ARGENTINA. 2007.
18. JEARSON, D. CARRERA, J. “Avances en biotecnología ambiental, tratamiento de residuos líquidos y sólidos”. Vol. 1. Editorial Acribia, Madrid, España – 2000.
19. KIELY, Gerard. “Ingeniería Ambiental” Editorial Mc Graw hil. Madrid – 1885.
20. Ley 28611. Ley de Medio Ambiente, de gestión ambiental, Art. 13 y Art. 17, Lima - Perú.
21. LUSK PHIL. “La Recuperación del Metano de Abonos Animales”. Departamento de Información de Energía en EE.UU.- 2002.
22. Mc GRAW – HILL, “Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental, Ciemal”. 2002.
23. METCALF & EDDY “Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización” Volumen I. Mc Graw 1996.
24. MONROY, O. “Control de arranque de operación de digestores anaerobios”. México – 2007.
25. MONTALVO S. “Tratamiento anaerobio de residuos”. Valparaíso Chile – 2003.
26. MONCAYO ROMERO. “Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás”. AquaLimpia 2008. <http://www.aqualimpia.com>

27. OCÉANO MULTIMEDIA, “Enciclopedia Audiovisual Educativa - Física y Química” 2011
28. RODRIGUEZ, J. A. 2005 Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Profesora asociada de la Universidad el Valle. Calí. Colombia  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/tratamiento.pdf>
29. SORIA, M. “Producción de biofertilizantes mediante biodigestion anaerobia de excretas”. Instituto Tecnológico Agropecuario, México – 2000.
30. TAIGANIDES EP. “Biogás: recuperación de energía de los excrementos animales”. 2003.
31. TELLEZ SANTANA, CRISTIAN ALBERTO. “Diseño y selección de elementos para plantas de biogás”. Valdivia, Chile 2008.
32. VIVES Z. “Presentación y argumentación de un sistema de tratamiento de cerdo por fermentación anaeróbica con recuperación de gases” Agrosuper – 2003.
33. WESTERMEIER, A. “Rol actual de los fertilizantes en la agricultura e industria forestal”. III Congreso Recuperación de suelos. Valdivia – 2004.

### Internet

1. <http://www.cepis.org.pe>
2. . <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>
3. [http://www.enziclean.com/articulos/produccion de biogas como una alternativa para el tratamiento de la porcinaza.html](http://www.enziclean.com/articulos/produccion_de_biogas_como_una_alternativa_para_el_tratamiento_de_la_porcinaza.html)
4. <http://www.unprg.edu.pe/bounprg/blogs/media/blogs/rsamillanri/DMecanico/simbologia.pdf>

# ANEXOS

## **ANEXO A: ANALISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO**

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-1

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-1

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-2

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-2

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS PRE TRATAMIENTO R-3

ANALISIS FISICO QUIMICO DE MUESTRAS POST TRATAMIENTO R-3



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**  
 Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (PRE TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 13/01/12

ANALISIS : 14/01/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Alcalinidad	mg/L	383	389	376
Solidos Totales	%	19.4	21.9	20.8
Solidos volátiles	%	12.7	14.1	13.8
DBO5	g/L	53	55	53
pH	und	7.61	7.73	7.69
Ceniza	%	2.25	2.28	2.26
Humedad	%	71.73	68.3	70.2
Nitrógeno	%	1.1	1.3	1.2
Fosforo	%	0.9	1	0.9
Potasio	%	2	2.2	2.1

PUNO, C. U. 14 de enero del 2012



*[Firma manuscrita]*  
**GERMAN CUELLE CALIZAYA**  
 Jefe Laboratorio Control de Calidad  
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA  
 UNA-PUNO



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**  
 Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 368190 - Fax (051) 368190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (POST TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 06/03/12

ANALISIS : 07/03/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Solidos Totales	%	7.7	7.9	7.7
Solidos volátiles	%	5.2	5.3	5.4
DBO5	g/L	7.4	7.1	7.3
pH	und	7.44	7.37	7.42
Nitrógeno	%	1.6	1.7	1.6
Fosforo	%	0.36	0.39	0.37
Potasio	%	0.04	0.05	0.04

PUNO, C. U. 07 de marzo del 2012

GERMÁN GUILLE CALZADA  
 Ingeniero Químico (a) Calificado  
 FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
 UNALTI - PUNO



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (PRE TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 10/03/12

ANALISIS : 11/03/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Alcalinidad	mg/L	388	386	366
Solidos Totales	%	19.6	20.5	19.8
Solidos Volátiles	%	12.1	13.2	12.7
DBOS	g/L	54	55	54
pH	und	7.64	7.66	7.58
Ceniza	%	2.26	2.27	2.24
Humedad	%	74.56	69.34	71.34
Nitrógeno	%	1.2	1.4	1.2
Fosforo	%	0.85	1	0.9
Potasio	%	2.1	2.1	2.1

PUNO, C. U. 11 de marzo del 2012

GERMÁN QUILLES CALIZAYA  
Jefe Laboratorio Control de Calidad  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
UNA - PUNO



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 368190 - Fax (051) 368190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (POST TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 06/05/12

ANALISIS : 07/05/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Solidos Totales	%	8	8.2	8.1
Solidos volátiles	%	5.1	5.2	5.6
DBO5	g/L	8.1	8.1	7.7
pH	und	7.22	7.34	7.42
Nitrógeno	%	1.7	1.8	1.7
Fosforo	%	0.36	0.38	0.38
Potasio	%	0.04	0.04	0.04

PUNO, C. U. 07 de mayo del 2012

Sello circular: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química, Puno, Puno.  
 Sello rectangular: JEFATURA, GERMAN GUILLE CALIZADA, Laboratorio Central de Calidad, FACULTAD INGENIERIA QUIMICA, UNA-PUNO.



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**  
 Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (PRE TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 09/05/12

ANALISIS : 10/05/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Alcalinidad	mg/L	382	401	372
Solidos Totales	%	20.2	23.1	21.6
Solidos volátiles	%	12.3	13.9	13.2
DBO5	g/L	53	55	54
pH	und	7.61	7.76	7.63
Ceniza	%	2.23	2.25	2.24
Humedad	%	73.46	70.64	72.67
Nitrógeno	%	0.9	1.3	1.1
Fosforo	%	0.9	1	1
Potasio	%	2.1	2.2	2

PUNO, C. U. 10 de mayo del 2012



*[Firma manuscrita]*  
**ING. GERARDO OUILLE CALIZAYA**  
 Jefe Laboratorio Control de Calidad  
 FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
 UNA-PUNO



*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



**ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE MUESTRAS DE PURIN (POST TRATAMIENTO)**

PROCEDENCIA : Cerro Blanco – Moquegua

INTERESADO : Wilson Javier Flores Hernández

MOTIVO : Trabajo de Tesis "PRODUCCION Y UTILIZACION DE BIOGAS A PARTIR DE PURINES, COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE"

MUESTREO : 11/07/12

ANALISIS : 12/07/12

**CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICA**

DETERMINACIONES	Unidades	T-1	T-2	T-3
Solidos Totales	%	8.7	8.5	8.3
Solidos volátiles	%	5.6	5.3	5.5
DBO5	g/L	7.9	7.7	8.1
pH	und	7.34	7.46	7.52
Nitrógeno	%	1.4	1.6	1.6
Fosforo	%	0.36	0.39	0.37
Potasio	%	0.03	0.04	0.04

PUNO, C. U. 12 de julio del 2012

GERARDO CONDE CALZAVARA  
 Profesor Titular de la Cátedra de Control de Calidad  
 FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
 UNA - PUNO

## **ANEXO B: CONTROL DE PARAMETROS DE LOS TRATAMIENTOS**

CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-1

CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-2

CONTROL T-1, T-2 Y T-3 DE R-3

CONTROL DE TRATAMIENTOS 1, 2 Y 3 DE REPETICION 1											
Dias	Fecha	Tª Ambiental	T-1.			T-2.			T-3.		
			P. H.	Tª Biodigestor	Biogas (Lt)	P. H.	Tª Biodigestor	Biogas (Lt)	P. H.	Tª Biodigestor	Biogas (Lt)
1	15/01/2012	20.30	7.61	19.5	0	7.73	19.1	0	7.69	18.7	0
2	16/01/2012	20.10	7.63	21.9	0	7.64	23.9	0	7.71	19.3	0
3	17/01/2012	19.30	7.55	21.1	0	7.55	25	0	8.04	21.1	0
4	18/01/2012	18.90	6.92	26.6	0	7.73	26.6	0	8.1	20.7	0
5	19/01/2012	20.00	7.13	28.6	0	7.62	27.9	0	7.87	23.7	0
6	20/01/2012	18.50	7.14	29.9	15.4	7.74	29.5	0	7.84	28.6	0
7	21/01/2012	19.90	6.75	30.5	21.3	7.67	28.8	0	7.16	29.9	8.2
8	22/01/2012	19.80	7.11	32.8	49.2	7.66	28.7	0	7.28	30.5	29.1
9	23/01/2012	20.00	7.23	31.7	89.4	7.74	29.3	0	7.17	30.8	49.4
10	24/01/2012	19.00	7.36	29.3	123.2	7.85	27.6	6.8	7.28	31.7	66.4
11	25/01/2012	18.20	7.35	27.6	127.1	7.76	27.9	12.5	7.76	29.3	87.6
12	26/01/2012	19.10	7.32	27.9	129.3	7.64	29.3	27.3	7.72	27.6	108.3
13	27/01/2012	18.70	7.43	29.3	128.6	7.73	28.6	43.7	7.78	27.9	115.3
14	28/01/2012	18.90	7.34	29.6	137.5	8.04	30.1	38.4	7.66	29.3	129.5
15	29/01/2012	18.50	7.47	30.1	139.2	7.75	29	66.7	7.79	28.6	136.4
16	30/01/2012	20.60	7.65	31	141.7	7.94	28.9	85.4	7.77	30.1	141.7
17	31/01/2012	18.80	7.46	28.9	139.5	7.83	27.6	105.6	7.36	29	133.6
18	01/02/2012	19.00	7.47	25.6	140.5	7.74	27.7	139.3	7.55	28.9	137.5
19	02/02/2012	18.10	7.33	27.7	140.3	7.54	28.6	149.4	7.57	29.6	126.3
20	03/02/2012	17.80	7.45	27.6	138.1	7.94	28.4	152.4	7.65	27.7	131.3
21	04/02/2012	18.80	7.34	28.4	136.5	7.93	29.7	160.3	7.9	29.6	137.5
22	05/02/2012	19.00	7.25	27.7	134.3	7.67	29.3	167.6	7.58	27.4	133.4
23	06/02/2012	18.90	7.42	28.3	128.6	7.93	28.8	161.3	7.46	27.7	127.2
24	07/02/2012	19.00	7.64	26.8	126.3	7.85	29.5	163.7	7.74	28.3	123.3
25	08/02/2012	17.90	7.47	27.5	125.8	7.7	29.4	161.1	7.77	29.8	127.4
26	09/02/2012	18.80	7.44	28.4	129.3	7.55	28.8	153.6	7.61	27.5	129.7
27	10/02/2012	19.00	7.56	28.8	126.2	7.93	29.4	152.5	7.58	28.4	123.5
28	11/02/2012	17.80	7.54	26.4	125.4	7.93	27.5	151.4	7.62	28.8	128.6
29	12/02/2012	18.90	7.54	27.5	128.3	7.97	29.8	157.4	7.6	28.4	129.8
30	13/02/2012	18.00	7.64	28.8	126.7	7.96	27.3	149.3	7.48	28.5	124.7
31	14/02/2012	16.70	7.43	24.3	127.6	7.97	25.8	139.1	6.82	28.8	102.1
32	15/02/2012	18.10	7.44	25.8	111.7	7.89	28.6	147.2	7.75	27.3	117.2
33	16/02/2012	18.00	7.63	27.6	80.3	7.73	27.3	152.2	7.67	27.8	115.3
34	17/02/2012	17.90	7.54	28.3	88.6	7.64	26.2	143.1	7.69	28.6	111.3
35	18/02/2012	17.60	7.44	27.2	47.9	7.44	27.2	143.5	7.82	28.3	116.8
36	19/02/2012	18.50	7.63	26.2	56.1	7.35	28.6	149.6	7.87	29.2	114.9
37	20/02/2012	18.00	7.64	27.6	34.7	7.33	29.1	127.2	7.82	27.2	107.8
38	21/02/2012	18.70	7.68	26.1	24.3	6.52	28.8	106.4	7.85	27.6	90.1
39	22/02/2012	18.00	7.43	27.8	16.2	6.74	28.7	82.5	7.88	27.1	79.4
40	23/02/2012	19.10	7.55	28.7	11.8	7.67	26.7	60.2	7.6	27.8	53.6
41	24/02/2012	18.00	7.7	27.7	10	7.56	29.4	67.3	7.67	28.7	38.6
42	25/02/2012	18.80	7.66	29.4	8.7	7.54	28.3	73.5	7.56	27.7	29.8
43	26/02/2012	17.90	7.55	27.3	8.3	7.75	27.7	59.6	7.68	27.4	17.2
44	27/02/2012	17.90	7.66	26.7	7.6	7.66	28.7	48.6	7.56	27.3	11.3
45	28/02/2012	18.10	7.73	25.7	5.4	7.73	27.4	35.2	7.78	27.7	7.9
46	29/02/2012	17.70	7.53	27.4	0	7.63	28.8	23.4	7.81	28.7	4.9
47	01/03/2012	18.20	7.44	28.8	0	7.54	27.4	10.7	7.77	27.4	0
48	02/03/2012	19.00	7.43	27.4	0	7.47	28.6	9.3	7.6	27.8	0
49	03/03/2012	17.80	7.54	28.6	0	7.35	27.4	8.7	7.66	27.4	0
50	04/03/2012	18.60	7.43	29.2	0	7.26	28.3	6.6	7.57	28.1	0
51	05/03/2012	18.90	7.44	27.6	0	7.37	27.5	0	7.42	27.7	0

CONTROL DE TRATAMIENTOS 1, 2 Y 3 DE REPETICION 2											
Dias	Fecha	Tº Ambiental	T-1			T-2			T-3		
			P. H.	º Biodigest	Biogas (Lt)	P. H.	º Biodigestor	Biogas (Lt)	P. H.	º Biodigest	Biogas (Lt)
1	11/03/2012	18.40	7.64	17.3	0	7.66	17.3	0	7.58	17.7	0
2	12/03/2012	17.30	7.63	17.8	0	7.65	18.8	0	7.72	20.4	0
3	13/03/2012	17.20	7.71	17.5	0	7.52	18.5	0	7.94	19.2	0
4	14/03/2012	18.70	7.67	21.1	0	7.83	21.7	0	8.01	20.8	0
5	15/03/2012	17.40	7.51	20.7	0	7.94	23.6	0	7.95	20.3	0
6	16/03/2012	17.60	7.58	21.7	0	7.97	26.1	0	7.84	21.9	0
7	17/03/2012	17.30	7.59	23.6	0	8.05	26.5	0	7.67	23.4	0
8	18/03/2012	17.40	7.81	26.1	0	7.96	27.3	0	7.66	23.4	0
9	19/03/2012	18.10	7.61	26.5	11.4	7.97	25.9	0	7.65	25.9	8.2
10	20/03/2012	17.30	7.72	27.3	27.3	7.89	26.1	0	7.83	26.3	12.5
11	21/03/2012	17.80	7.51	25.9	45.6	7.73	26.1	0	7.74	27.1	32.9
12	22/03/2012	17.60	7.63	26.1	59.7	7.64	26.9	7.6	7.77	25.7	42.5
13	23/03/2012	17.80	7.95	26.1	43.9	7.55	27.4	12.4	7.88	25.9	57.2
14	24/03/2012	17.50	7.65	26.9	59.2	7.64	27.5	27.3	7.78	25.9	77.1
15	25/03/2012	17.60	7.53	27.4	74.5	7.45	28.3	38.6	7.67	26.7	89.6
16	26/03/2012	18.40	7.72	27.5	102.3	7.23	27.5	55.7	7.66	27.2	69.9
17	27/03/2012	17.50	7.83	28.3	119.5	7.02	25.8	72.3	7.87	27.3	83.2
18	28/03/2012	18.20	7.84	27.5	121.9	6.84	26.6	99.9	6.37	28.1	78.1
19	29/03/2012	17.40	7.95	25.8	129.6	6.57	25.6	75.4	7.66	27.3	102.3
20	30/03/2012	18.30	7.91	26.6	127.3	7.1	25	133.1	7.68	25.6	106.7
21	31/03/2012	18.50	7.83	25.6	124.4	7.04	22.5	147.6	7.7	26.4	112.9
22	01/04/2012	17.60	7.52	25	123.3	7.34	23.5	142.9	7.72	25.4	108.3
23	02/04/2012	17.20	7.83	22.5	124.6	7.53	25.5	132.4	7.78	24.8	105.3
24	03/04/2012	17.40	7.64	23.5	126.5	7.45	26.4	132.4	7.66	22.3	104.5
25	04/04/2012	18.00	7.67	25.5	129.2	7.43	27.7	136.7	7.89	23.3	116.4
26	05/04/2012	18.10	7.65	26.4	129.7	7.64	26.9	135.4	7.77	25.3	119.7
27	06/04/2012	18.30	7.66	28.7	134.5	7.83	27.8	135.6	7.66	26.2	117.6
28	07/04/2012	18.60	7.53	26.9	125.3	7.54	25.6	131.4	7.97	28.5	106.3
29	08/04/2012	17.70	7.64	27.8	112.6	7.83	24.9	139.8	7.86	26.7	106.3
30	09/04/2012	17.30	7.64	25.6	112.5	7.93	23.9	130.3	7.9	27.6	117.5
31	10/04/2012	17.50	7.75	24.9	114.3	7.34	25	135.6	7.58	25.4	113.4
32	11/04/2012	17.60	7.63	23.9	107.3	7.98	25.7	127.7	7.66	24.7	109.4
33	12/04/2012	17.50	7.54	25	113.2	7.85	26	133.7	7.74	23.7	103.3
34	13/04/2012	18.40	7.67	25.7	112.8	7.7	24.4	131.1	7.77	24.8	103.4
35	14/04/2012	18.60	7.66	26	112.4	7.66	26.8	125.3	7.6	25.5	104.1
36	15/04/2012	17.30	7.59	24.4	111.4	7.93	25.3	121.4	7.92	25.8	108.6
37	16/04/2012	17.50	7.64	26.8	107.7	7.96	25.1	119.3	7.89	24.2	104.7
38	17/04/2012	16.20	7.73	25.3	87.6	7.97	24.8	98.3	7.78	26.6	92.1
39	18/04/2012	17.60	7.54	25.1	91.7	7.89	25.8	107.2	7.75	25.1	107.2
40	19/04/2012	18.50	7.63	24.8	78.6	7.73	25.8	112.2	7.67	24.9	95.3
41	20/04/2012	17.40	7.54	25.8	59.3	7.64	24.1	113.1	7.69	24.6	95.3
42	21/04/2012	17.50	7.73	25.8	36.1	7.55	25	107.3	7.85	25.6	90.7
43	22/04/2012	17.00	7.73	24.1	34.7	7.95	25.5	119.6	7.87	25.6	103.3
44	23/04/2012	17.50	7.64	25	24.3	7.63	23.9	104.2	7.82	25.9	93.7
45	24/04/2012	17.20	7.68	25.5	22.5	7.53	24.7	86.4	7.85	24.8	102.3
46	25/04/2012	17.50	7.73	24.7	16.8	7.64	23.4	62.5	7.88	24.3	93.7
47	26/04/2012	18.60	7.65	24.7	11.3	7.72	24.6	40.2	7.6	22.7	69.3
48	27/04/2012	17.50	7.6	23.4	6.7	7.52	24.4	27.3	7.67	24.7	47.2
49	28/04/2012	17.30	7.66	24.6	0	7.63	25.6	23.5	7.56	23.4	27.3
50	29/04/2012	16.40	7.55	19.5	0	7.45	24.5	19.6	7.68	24.6	16.7
51	30/04/2012	16.60	7.63	23.7	0	7.63	25.7	15.2	7.78	25.5	11.2
52	01/05/2012	16.20	7.63	24.1	0	7.53	23.1	13.4	7.51	24.5	10.3
53	02/05/2012	15.70	7.54	25	0	7.44	24.5	10.2	7.77	24.8	7.7
54	03/05/2012	16.50	7.56	26.6	0	7.37	25.6	8.3	7.6	25.7	5.7
55	04/05/2012	15.30	7.54	24.5	0	7.25	24.5	8.2	7.66	23.4	0
56	05/05/2012	15.10	7.52	25.2	0	7.21	23.6	4.6	7.57	25.2	0
57	06/05/2012	15.40	7.62	26.3	0	7.34	24.9	0	7.42	26.2	0

CONTROL DE TRATAMIENTOS 1, 2 Y 3 DE REPETICION 3											
Dias	Fecha	T° Ambiental	T-1			T-2			T-3		
			P. H.	T° Biodigestor	Biogas (Lt)	P. H.	T° Biodigestor	Biogas (Lt)	P. H.	T° Biodigestor	Biogas (Lt)
1	10/05/2012	17.40	7.61	18.1	0	7.76	18.1	0	7.63	18.2	0
2	11/05/2012	16.30	7.63	19.6	0	7.65	19.6	0	7.72	18.4	0
3	12/05/2012	15.20	7.71	18.5	0	7.52	19.5	0	7.94	19.4	0
4	13/05/2012	16.70	7.67	21.9	0	7.83	22.5	0	8.01	19.8	0
5	14/05/2012	15.40	7.71	20.5	0	7.94	21.2	0	7.95	19.3	0
6	15/05/2012	15.60	7.68	20.5	0	7.97	21.5	0	7.84	20.9	0
7	16/05/2012	16.30	7.59	21.4	0	8.05	23	0	7.67	21.4	0
8	17/05/2012	17.40	7.81	22.9	0	7.96	23.9	0	7.66	22.6	0
9	18/05/2012	16.00	7.91	21.2	0	7.97	22.2	0	7.65	21.1	0
10	19/05/2012	15.30	7.92	21.1	0	7.89	21.1	0	7.83	20.2	0
11	20/05/2012	16.80	7.71	21.7	0	7.73	22.7	0	7.74	22.1	0
12	21/05/2012	16.60	7.43	21.9	0	7.64	21.9	0	7.77	21.7	0
13	22/05/2012	15.80	7.65	20.9	12.2	7.55	21.9	0	7.88	21.2	15.6
14	23/05/2012	16.50	7.65	21.7	22.8	7.84	22.7	9.2	7.78	21.6	34.4
15	24/05/2012	16.60	7.53	21.7	47.7	7.95	21.7	13.5	7.67	21.5	55.4
16	25/05/2012	16.40	7.72	21.3	62.3	7.93	22.3	22.7	7.66	21.7	62.8
17	26/05/2012	17.50	7.76	22.1	87.2	7.57	23.1	37.6	7.87	22.6	72.4
18	27/05/2012	16.20	7.45	21.3	94.7	7.76	21.3	49.1	7.84	21.4	89.2
19	28/05/2012	16.40	7.65	21.6	95.1	7.75	21.6	69.6	7.66	21.5	88.3
20	29/05/2012	16.30	7.91	21.4	95.6	7.66	21.4	93.3	7.68	21.2	84.1
21	30/05/2012	16.50	7.83	21.4	108.3	8.04	21.7	102.5	7.7	21.8	86.4
22	31/05/2012	16.50	7.76	21.8	109.2	7.95	21.8	118.9	7.88	21.6	86.4
23	01/06/2012	15.70	7.65	21.8	108.9	7.96	21.8	124.3	7.76	21.9	87.6
24	02/06/2012	15.60	7.52	21.8	107.3	7.84	21.8	124.2	7.72	21.7	78.3
25	03/06/2012	15.20	7.43	21.3	108.6	7.73	21.3	125.2	7.78	21.1	75.3
26	04/06/2012	15.40	7.54	21.3	107.5	8.04	22.3	113.5	7.66	21.7	89.5
27	05/06/2012	16.40	7.37	22.7	107.2	7.93	22.7	116.9	7.89	22.5	89.4
28	06/06/2012	17.10	7.04	23.2	108.9	7.94	23.2	125.4	7.77	23.3	97.7
29	07/06/2012	13.30	6.45	21.5	84.5	7.83	21.5	111.4	7.66	19.4	86.6
30	08/06/2012	15.40	7.1	21.3	97.6	7.63	22.3	118.3	7.86	21.7	94.7
31	09/06/2012	15.60	7.23	21.9	106.3	7.54	21.9	111.4	8	21.7	86.3
32	10/06/2012	16.70	7.64	23.8	109.6	7.83	23.8	119.8	7.72	22.9	107.3
33	11/06/2012	16.30	7.55	22.5	112.7	7.94	22.5	122.4	7.68	22.4	115.3
34	12/06/2012	15.30	7.84	21.4	112.5	7.93	23.4	121.3	7.59	21.2	112.5
35	13/06/2012	15.50	7.95	21.4	109.3	8.04	23.4	120.6	7.58	22.8	99.4
36	14/06/2012	14.60	7.93	20.9	107.3	7.98	21.9	117.7	7.66	20.7	83.4
37	15/06/2012	15.40	7.82	21.5	105.6	7.93	22.5	116.3	7.46	23.6	93.2
38	16/06/2012	15.50	7.84	21.7	103.2	7.85	21.7	113.7	7.74	24.6	94.3
39	17/06/2012	16.40	7.87	22.5	108.8	7.7	23.5	121.1	7.77	23.3	91.4
40	18/06/2012	15.30	7.95	21.4	99.6	7.76	22.4	122.2	7.57	21.5	85.4
41	19/06/2012	16.50	7.96	22.7	96.2	7.63	23.7	119.5	7.88	24.6	93.5
42	20/06/2012	15.30	7.84	21.4	92.4	7.63	22.4	111.4	7.72	21.2	98.6
43	21/06/2012	15.60	7.73	21.5	85.3	7.64	23.5	116.7	7.65	21.9	91.7
44	22/06/2012	16.10	7.73	22.2	96.7	7.85	22.2	111.4	7.81	22.3	96.4
45	23/06/2012	15.50	7.74	21.7	84.7	7.76	21.7	109.3	7.79	21.6	94.7
46	24/06/2012	14.20	7.83	20.3	60.6	7.97	20.3	89.1	7.78	20.1	87.1
47	25/06/2012	15.50	7.63	21.8	54.3	7.73	22.8	82.2	7.67	21.6	92.3
48	26/06/2012	15.40	7.54	21.5	44.6	7.64	21.5	73.1	7.69	21.6	87.4
49	27/06/2012	15.50	7.83	21.7	25.3	7.55	21.7	57.3	7.85	21.6	86.8
50	28/06/2012	15.10	7.74	21.2	17.9	7.84	21.2	53.5	7.82	23.6	87.9
51	29/06/2012	16.20	7.63	22.1	20.1	7.75	24.1	49.6	7.87	22.5	73.8
52	30/06/2012	15.50	7.84	21.8	14.7	7.63	21.8	37.2	7.82	21.6	62.3
53	01/07/2012	15.20	7.78	21.3	11.8	7.54	21.3	26.4	7.85	21.4	69.1
54	02/07/2012	15.60	7.85	21.7	0	7.67	21.7	10.2	7.6	21.5	38.4
55	03/07/2012	15.50	7.7	21.4	0	7.45	21.4	17.3	7.67	21.8	31.6
56	04/07/2012	15.30	7.66	21.6	0	7.75	21.6	13.5	7.56	21.4	16.3
57	05/07/2012	15.40	7.55	21.5	0	7.65	21.5	9.6	7.68	21.6	22.1
58	06/07/2012	15.40	7.66	21.6	0	7.46	21.6	6.6	7.56	21.5	17.4
59	07/07/2012	16.20	7.53	22.1	0	7.53	22.1	9.4	7.51	22.1	11.3
60	08/07/2012	15.70	7.44	22	0	7.64	22	8.7	7.47	22.3	0
61	09/07/2012	15.50	7.33	21.6	0	7.47	21.6	8.3	7.6	21.6	0
62	10/07/2012	17.10	7.4	22.2	0	7.36	23.2	7.6	7.57	22.7	0
63	11/07/2012	16.40	7.34	22.3	0	7.46	22.3	0	7.52	21.3	0

## **ANEXO C: ANALISIS DE VARIANZA**

ANALISIS DE DATOS CON EL PAQUETE NCSS 2007

**ANALISIS DE DATOS CON EL PAQUETE NCSS 2007**

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft	Sig
Tratamientos	2	12,7118	6,3559	11,56	5,14325285	0,008753*
Error	6	3,2998	0,5499667			
Total(Ajustado)	8	16,0116				

La hipótesis Ho es rechazada, y podemos afirmar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos a un 0.05% de nivel de significancia.

**Prueba de Comparaciones Múltiples Tukey-Kramer**

Grupo	Count	Media	Diferencia de Grupos
T1	3	22,99	T2
T3	3	24,66	
T2	3	25,89	T1

La prueba de Tukey-Kramer nos indica que solo existe diferencias significativas en la producción de biogás entre los tratamientos T1 y T2, mientras que entre los tratamientos T2 y T3 no existe diferencias significativas.

Como el objetivo es tener la mayor producción de biogás optamos como mejor tratamiento al Tratamiento T2 porque presenta la mejor media.

El paquete utilizado para el análisis de datos es NCSS 2007.

**Analysis of Variance Report**

Page/Date/Time 1 01/10/2013 4:31:00  
 Database  
 Response C2

**Expected Mean Squares Section**

Source Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
-------------	----	-------------	------------------	----------------------

A: C1	2	Yes	S	S+sA
S	6	No		S

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

**Analysis of Variance Table**

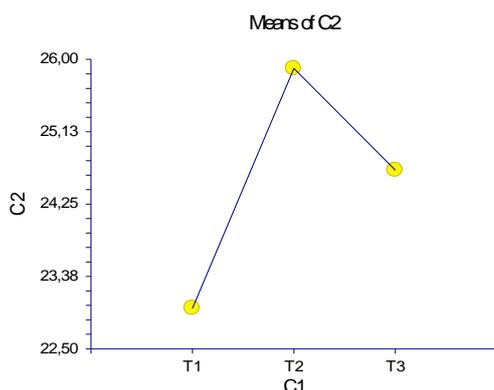
Source Term	DF	Sum of Squares (Alpha=0,05)	Mean Square	Prob F-Ratio	Power Level
A: C1	2	12,7118	6,3559	11,56	0,008753*
S	6	3,2998	0,5499667		
Total (Adjusted)	8	16,0116			
Total	9				

\* Term significant at alpha = 0,05

**Means and Effects Section**

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	9	24,51333		24,51333
A: C1				
T1	3	22,99	0,4281614	-1,523333
T2	3	25,89	0,4281614	1,376667
T3	3	24,66	0,4281614	0,1466667

**Plots Section**



**Analysis of Variance Report**

Page/Date/Time 2 01/10/2013 4:31:00  
 Database  
 Response C2

**Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test**

Response: C2  
 Term A: C1

Alpha=0,050 Error Term=S DF=6 MSE=0,5499667 Critical Value=4,3392

Group	Count	Mean	Different From Groups
T1	3	22,99	T2
T3	3	24,66	
T2	3	25,89	T1

Notes:

This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

**Tukey-Kramer's Simultaneous Confidence Intervals for Multiple Comparisons of All Pairs**

Response: C2

Term A: C1

Alpha=0,050 Error Term=S DF=6 MSE=0,5499667 Critical Value=4,3392

Comparison Groups	Count	Mean	Lower 95,0% Simult.C.I.	Mean Difference	Upper 95,0% Simult.C.I.	Test Result
<b>T1</b>	<b>3</b>	<b>22,99</b>				
- T2	3	25,89	-4,757886	-2,9	-1,042114	L
- T3	3	24,66	-3,527886	-1,67	0,1878864	
<b>T2</b>	<b>3</b>	<b>25,89</b>				
- T1	3	22,99	1,042114	2,9	4,757886	U
- T3	3	24,66	-0,6278864	1,23	3,087886	
<b>T3</b>	<b>3</b>	<b>24,66</b>				
- T1	3	22,99	-0,1878864	1,67	3,527886	
- T2	3	25,89	-3,087886	-1,23	0,6278864	

Notes:

This report provides joint simultaneous confidence intervals for all pairwise differences between the means.

## **ANEXO D: ANALISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO**

PRESUPUESTO

METRADOS

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

**Presupuesto**

Presupuesto **1801002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR PARA LA GRANJA JAYSON**

Subpresupuesto **002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR**

Cliente **GRANJA JAYSON** Costo al **07/07/2013**

Lugar **MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - CHEN CHEN - CERRO BLANCO**

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
01.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJA	m3	18.04	36.05	650.34
02	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				
02.01	CONCRETO PARA PARA SOLADOS E=10 CM 1:10 (CEMENTO:HORMIGON)	m2	18.75	20.77	389.44
03	<b>ALBAÑILERIA</b>				
03.01	MURO DE SOGA LADRILLO KING KONG CON CEMENTO ARENA	m2	45.72	68.32	3123.59
04	<b>SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE</b>				
04.01	SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE DEL BIODIGESTOR	glb	1.00	46.31	46.31
05	<b>REVOQUES Y ENLUCIDOS</b>				
05.01	TARRAJEO, FROTACHADO E=2 CM MEZCLA 1:4	m2	39.38	13.65	537.54
06	<b>PISOS</b>				
06.01	PISO DE CONCRETO FROTACHADO E=1.5 CM	m2	14.98	8.78	131.52
07	<b>ALMACENAMIENTO DE BIOGAS</b>				
07.01	GASOMETRO	m2	22.50	58.36	1313.10
08	<b>SISTEMA DE CONDUCCION</b>				
08.01	SISTEMA DE CONDUCCION DE BIOGAS	m	25.00	11.59	289.75
<b>Presupesto Total</b>					<b>6481.59</b>

SON : SEIS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y UNO CON 59/100 NUEVOS SOLES

Fecha : 07/07/2013 07:31:39 AM

**Presupuesto**

Presupuesto 1801002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR PARA LA GRANJA JAYSON

Subpresupuesto 002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR

Cliente GRANJA JAYSON

Costo al

07/07/2013

Lugar MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - CHEN CHEN - CERRO BLANCO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
01.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJA	m3	18.04	36.05	650.34
02	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				
02.01	CONCRETO PARA PARA SOLADOS E=10 CM 1:10 (CEMENTO:HORMIGON)	m2	18.75	20.77	389.44
03	<b>ALBAÑILERIA</b>				
03.01	MURO DE SOGA LADRILLO KING KONG CON CEMENTO ARENA	m2	45.72	68.32	3123.59
04	<b>SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE</b>				
04.01	SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE DEL BIODIGESTOR	glb	1.00	46.31	46.31
05	<b>REVOQUES Y ENLUCIDOS</b>				
05.01	TARRAJEO, FROTACHADO E=2 CM MEZCLA 1:4	m2	39.38	13.65	537.54
06	<b>PISOS</b>				
06.01	PISO DE CONCRETO FROTACHADO E=1.5 CM	m2	14.98	8.78	131.52
07	<b>ALMACENAMIENTO DE BIOGAS</b>				
07.01	GASOMETRO	m2	22.50	58.36	1313.10
08	<b>SISTEMA DE CONDUCCION</b>				
08.01	SISTEMA DE CONDUCCION DE BIOGAS	m	25.00	11.59	289.75
<b>Presupuesto Total</b>					<b>6481.59</b>

SON : SEIS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y UNO CON 59/100 NUEVOS SOLES

Fecha : 07/07/2013 07:31:39 AM

**HOJA DE METRADOS**

PROYECTO: "CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR EN LA GRANJA JAYSON"

FECHA 01/07/2013

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Und. Med.	Nº de veces	Dimensiones			METRADO Parcial	METRADO Total
				Ancho (x)	Largo (y)	Alto (z)		
<b>01.00.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>							
01.01.00	Excavación manual de zanja.	M3						<b>18.04</b>
	Biodigestor		1	1.70	Area	10.17	17.29	
	Caja de salida		1	1.05	1.05	0.68	0.75	
<b>02.00.00</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>							
02.01.00	Concreto para solados e=10 cm. 1:10 (cemento:hormigon)	M2						<b>18.75</b>
	Reservorio		1	1.70	8.20		13.94	
	Perimetro reservorio		1	0.25	8.70		2.18	
			1	0.25	1.70		0.43	
	Cajas		2	1.05	1.05		2.21	
<b>03.00.00</b>	<b>ALBAÑILERIA</b>							
03.01.00	MURO DE SOGA LADRILLO KING-KONG CON CEMENTO-ARENA	M2						<b>45.72</b>
	Reservorio		2		Area	12.57	25.14	
			1		8.20	1.64	13.45	
			1	1.50		1.34	2.01	
	Perimetro reservorio		2		8.70	0.20	3.48	
			2	2.00		0.20	0.80	
	Cajas		2	0.85	0.85	0.58	0.84	
<b>04.00.00</b>	<b>SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE</b>							<b>1.00</b>
04.01.00	Sistema de alimentacion y drenaje del biodigestor	glb	1				1.00	
<b>05.00.00</b>	<b>REVOQUES Y ENLUCIDOS</b>							
05.01.00	Tarrajeo, frotachado Muros Interiores e=2 cm. Mezcla 1:5	M2						<b>39.38</b>
	Reservorio		2		Area	9.52	19.04	
			1		8.00	1.64	13.12	
			1	1.50		1.34	2.01	
	Perimetro reservorio		1	0.20	8.50		1.70	
			1	0.20	1.70		0.34	
			1	0.20	8.70		1.74	
			1	0.20	2.20		0.44	
	Cajas		1	0.85		0.58	0.49	
			1		0.85	0.58	0.49	
<b>06.00.00</b>	<b>PISOS</b>							<b>14.98</b>
06.01.00	PISO DE CONCRETO ACABADO FROTACHADO E=1.5cm	M2						
	Reservorio		1	1.50	8.00		12.00	
	Perimetro reservorio		1	0.15	8.50		1.28	
			1	0.15	1.70		0.26	
	cajas		2	0.85	0.85		1.45	
<b>07.00.00</b>	<b>ALMACENAMIENTO DE BIOGAS</b>							<b>22.50</b>
07.01.00	Gasometro	M2	1	2.50	9.00		22.50	
<b>08.00.00</b>	<b>SISTEMA DE CONDUCCION</b>							<b>25.00</b>
08.01.00	Sistema de conduccion de biogas	m	25				25.00	

**Análisis de precios unitarios**

Presupuesto **1801002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR**  
 Subpresupuesto **002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR** Fecha presupuesto **05/07/2013**

Partida **1.01 EXCAVACION MANUAL DE ZANJA**

Rendimiento **m3/DIA** MO. **3.0000** EQ. **3.0000** Costo unitario directo por : m3

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	0.2000	0.5333	13.12	7.00
147010004	PEON	hh	1.0000	2.6667	10.50	
<b>35.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	35.00	1.05
<b>1.05</b>						

Partida **2.01 CONCRETO PARA SOLADOS E=10 CM 1:12 (CEMENTO. HORMIGON)**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **40.0000** EQ. **40.0000** Costo unitario directo por : m2 **20.77**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.1000	13.12	1.31
147010004	PEON	hh	3.0000	0.3000	10.50	
<b>4.46</b>						
<b>Materiales</b>						
221000000	CEMENTO PORTLAND IP (42.5 KG)	bls		0.3586	20.80	7.46
234000000	GASOLINA 84 OCTANOS	gln		0.0375	13.50	0.51
238000000	HORMIGON	m3		0.1219	55.00	6.70
<b>14.67</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	4.46	0.13
348010007	MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11P3-13HP	hm	1.0000	0.1000	15.00	1.50
<b>1.63</b>						

Partida **3.01 MURO DE SOGA LADRILLO KING-KONG CON CEMENTO ARENA**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **8.0000** EQ. **8.0000** Costo unitario directo por : m2 **68.32**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	1.0000	13.12	
147010004	PEON	hh	0.5000	0.5000	10.50	5.25
<b>Materiales</b>						
205010004	ARENA GRUESA	m3		0.0310	55.00	1.71
217000023	LADRILLO K K DE ARCILLA 9X14X24CM	und		35.0000	1.20	42.00
221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 KG)	bls		0.2736	20.80	5.69
<b>49.40</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	18.37	0.55
<b>0.55</b>						

S10

Página : 2

**Análisis de precios unitarios**

Presupuesto 1801002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR

Subpresupuesto 002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR

Fecha presupuesto 05/07/2013

Partida	4.01	SISTEMA DE ALIMENTACION Y DRENAJE DEL BIODIGESTOR				
Rendimiento	glb/DIA	MO. 5.0000	EQ. 5.0000	Costo unitario directo por : glb		46.31
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010020	OPERARIO	hh	1.0000	0.1000	13.12	1.31
						<b>1.31</b>
<b>Materiales</b>						
204000000	TUBERIA PVC SAL 4"	und		1.0000	18.00	18.00
221000000	TUBERIA PVC SAL 6"	m		1.0000	12.00	12.00
	TAPON PVC SAL 6"	und		1.0000	15.00	15.00
						<b>45.00</b>
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.0300	1.31	0.00
						<b>0.00</b>
Partida	5.01	TARRAJEO DE MUROS FROTACHADO MEZCLA C:A 1:5, E=1.5CM				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m2		13.65
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5333	13.12	7.00
147010004	PEON	hh	0.5000	0.2667	10.50	2.80
						<b>9.80</b>
<b>Materiales</b>						
204000000	ARENA FINA	m3		0.0182	60.00	1.09
221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 KG)	bls		0.1190	20.80	2.48
						<b>3.57</b>
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.00	0.00
						<b>0.29</b>
Partida	6.01	PISO DE CONCRETO ACABADO FORTACHADO E=1.5CM				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m2		8.78
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.1000	13.12	1.31
147010004	PEON	hh	1.0000	0.1000	10.50	1.05
						<b>2.36</b>
<b>Materiales</b>						
204000000	ARENA FINA	m3		0.0280	60.00	1.68
221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 KG)	bls		0.2280	20.80	4.74
						<b>6.42</b>
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.0300	6.99	0.00
						<b>0.00</b>

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto **1801002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR**  
 Subpresupuesto **002 CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR** Fecha presupuesto **05/07/2013**

Partida **7.01 GASOMETRO**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **200.0000** EQ. **200.0000** Costo unitario directo por : m2 **58.36**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.1000	13.12	1.31
147010004	PEON	hh	1.0000	0.1000	10.50	1.05
						<b>2.36</b>
<b>Materiales</b>						
210490021	GEOMEMBRANA DE EPDM, 1.04MM	m2		1.0000	42.00	42.00
	GANCHO METALICO SIMPLE	und		4.6667	3.00	14.00
						<b>56.00</b>
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.0300	6.99	0.00

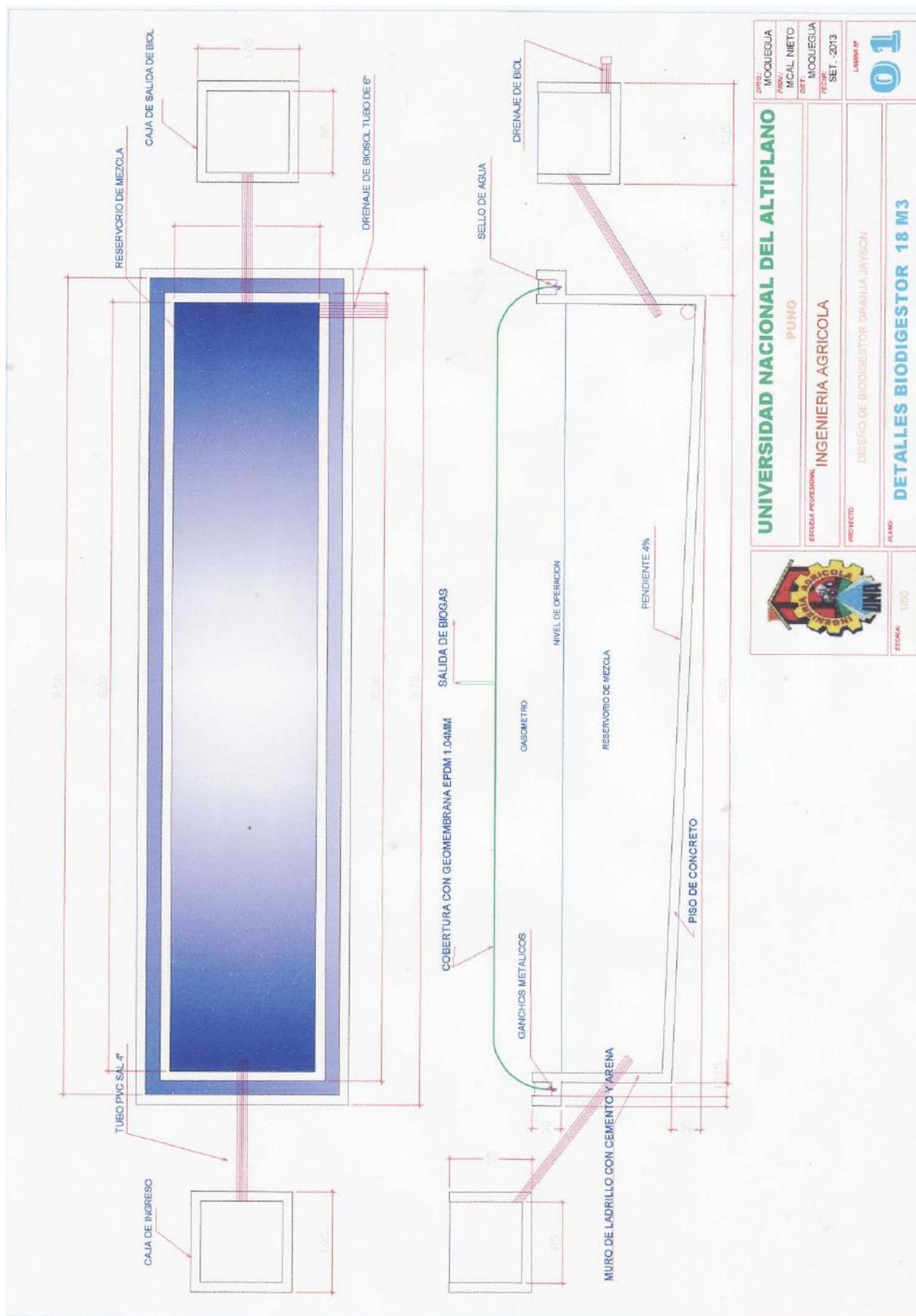
Partida **8.01 SISTEMA DE CONDUCCION DE BIOGAS**

Rendimiento **m/DIA** MO. **20.0000** EQ. **20.0000** Costo unitario directo por : m **11.59**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5333	13.12	7.00
						<b>7.00</b>
<b>Materiales</b>						
170000000	MANGUERA DE POLIETILENO 1/2"	m		1.0000	2.20	2.20
186999998	VALVULA DE COMPUERTA DE PVC	und		0.1200	12.00	1.44
186999999	ARANDELAS DE PLASTICO RIGIDO	und		0.0800	0.50	0.04
187000000	CODO PVC 1/2"	und		0.1200	1.00	0.12
204000000	NIPLE PVC 1/2"	und		0.0800	1.00	0.08
204000000	TEE PVC 1/2"	und		0.1200	1.00	0.12
204000000	CINTA TEFLON			0.0400	1.50	0.06
221000000	ADEX	bls		0.0400	8.00	0.32
						<b>4.38</b>
<b>Equipos</b>						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	7.00	0.21
						<b>0.21</b>

Fecha : **05/07/2013 07:33:35 AM**

## **ANEXO E: PLANO DE DISEÑO DE BIODIGESTOR**



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b> PUNO	DEPTO: MOQUEGUA PROV: MOQUEGUA DISTR: MOQUEGUA REGIÓN: S.E.T. - 2013 LAMBA P
	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERIA AGRICOLA</b>	PROYECTO: DISEÑO DE BIODIGESTOR GRANJA JAYSON
ESCALA: 1/50	PLANO: <b>DETALLES BIODIGESTOR 18 M3</b>	