

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS OBTENIDO A
PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA
ASOCIACIÓN DE GANADEROS DE LAMBAYEQUE**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORA

NATALI MARIEL DELGADO RAMOS

ASESORA

Ing. MARÍA LUISA ESPINOZA GARCÍA URRUTIA

Chiclayo, 2018

DEDICATORIA

A Dios, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando estuve a punto de caer; por ello con todo el amor que puede emanar de mi corazón, dedico en primer lugar mi tesis a Dios.

A mis padres, la motivación hecha personas, por el apoyo incondicional y por el amor más grande y sincero.

AGRADECIMIENTOS

Gracias, una palabra que no abarca lo que deseo expresar para todos aquellos que estuvieron conmigo en este arduo camino y una palabra que no alcanza para agradecer a tantas personas que me apoyaron, aun así GRACIAS.

Al creador de todas las cosas, él que me ha dado fortalezas para continuar cuando estuve a punto de caer; como pagar tanto apoyo, deseos cumplidos, metas alcanzadas, compañía, sabiduría, tantas y tantas cosas Señor. Gracias.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos los que incluye este.

Agradezco todo el amor, la confianza y el cariño; nunca encontraré la forma para poder pagar todo lo que me han dado y han hecho por mí. Gracias a ustedes soy quien soy y soy como soy, esto va por ustedes.

A mi hermano que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo, siendo siempre un amigo para mí; espero no fallarte en todo lo que esperas de mí.

A mi esposo, por sus palabras de ánimo y confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

A los profesores, por haber compartido sus conocimientos y ayudar a mi formación, de todos y cada uno de ellos aprendí algo.

Ing. María Luisa muchas gracias por su apoyo, sus consejos, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación.

A mis verdaderos amigos, con los que forje la mejor relación; a ustedes gracias por su motivación y por hacerme reír en los peores momentos.

RESUMEN

La ganadería es una de las actividades que más contaminan la atmósfera por la emisión de grandes cantidades de metano (CH_4), un gas del efecto invernadero que absorbe 25 veces más calor que el dióxido de carbono (CO_2) contribuyendo al calentamiento global del planeta. El metano que generan las excretas animales es también combustible que se puede aprovechar y, mediante un sistema de tratamiento, convertirse en gas y finalmente en energía eléctrica.

Este gas se puede producir en condiciones anaeróbicas en un dispositivo conocido como biodigestor. Esta tecnología se puede aplicar en el sector pecuario para el desarrollo sustentable promoviendo una cultura ecologista, mediante el aprovechamiento de los desechos animales para la generación de energía.

La Asociación de Ganaderos de Lambayeque, en el año 2018, cuenta con 340 cabezas de ganado vacuno, de las cuales alrededor de 265 son vacas lecheras, cuya producción de leche disminuye (7 litros aproximadamente) en los meses de verano debido a las condiciones ambientales al que el animal es expuesto y cuyas condiciones traen efectos negativos en la producción y composición de la leche, por lo que en este trabajo se propone el uso de ventiladores para refrescar al ganado. Estos equipos serán accionados por biogás obtenido a partir de estiércol tratado en un biodigestor tipo chino.

La cantidad promedio en un día de excretas es de al menos 3 302 kg y de los cuales se obtiene $21,4 \text{ m}^3$ de biogás limpio, que cubrirán un requerimiento de 88,8 kW/día. Hecho el análisis se determinó que la propuesta será viable con una relación costo-beneficio de 2,74.

Palabras claves: Estiércol, biodigestor, biogás.

ABSTRACT

Livestock is one of the activities that pollute the atmosphere by the emission of large quantities of methane (CH₄) a greenhouse gas that absorbs 25 times more heat than carbon dioxide (CO₂) emissions contributing to global warming. Methane generated by animal waste is also fuel that can be exploited and, through a treatment system, gas and become finally into electrical energy.

This gas can occur under anaerobic conditions in a device known as digester. This technology can be applied in the livestock sector for sustainable development by promoting an environmental culture through the use of animal waste for energy generation.

Cattlemen's Association of Lambayeque, in 2018, has 340 cattle, of which about 265 are dairy cows, whose milk production decreases (7 liters) in the summer months due to environmental conditions to the the animal is exposed and the conditions bring negative effects on production and composition of milk, so in this work using fans to cool proposes livestock. These teams will be powered by biogas obtained from treated manure digester in a Chinese type.

The average amount in a day of excreta is at least 3 302 kg and of which 21,4 m³ biogas, which will cover a requirement of 88,8 kW / day is obtained. Made analysis determined that the proposal be viable with a benefit-cost 2,74 ratio.

Keywords: Manure, anaerobic system, biogas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO REFERENCIAL	12
2.1 Antecedentes del problema.....	12
2.2 Fundamentos teóricos.....	14
2.2.1 Biogás.....	14
2.2.2 Digestión Anaeróbica.....	17
2.2.3 Biodigestor.....	24
2.2.4 Estiércol de ganado vacuno.....	34
2.2.5 Estrés por calor.....	36
2.2.6 Métodos para mitigar el estrés por calor.....	38
III. RESULTADOS	42
3.1 Cuantificación del estiércol del ganado vacuno.....	42
3.1.1 Descripción de la empresa.....	42
3.1.2 Cuantificación del estiércol.....	43
3.1.3 Producción de estiércol.....	45
3.1.4 Proyección de la producción de estiércol.....	47
3.2 Caracterización de la mezcla.....	47
3.2.1 Procedimiento de la caracterización de la mezcla.....	48
3.2.3 Importancia y comparación de resultados.....	49
3.3 Estimación de energía para el sistema de ventilación.....	50
3.3.1 Sistemas de ventilación para establos.....	50
3.3.2 Cálculo de energía para abastecer sistema de ventilación.....	53
3.4 Diseño del sistema de tratamiento del estiércol de ganado vacuno.....	60
3.4.1 Selección y diseño del biodigestor.....	61
3.4.2 Diseño del desulfurador.....	81
3.4.3 Grupo electrógeno.....	83
3.4.4 Selección del tanque de homogenización.....	87
3.5 Análisis costo – beneficio de la propuesta.....	92
3.5.1 Inversiones.....	92
3.5.2 Ingresos.....	101
3.5.3 Cálculo costo beneficio.....	102
3.5.4 Financiamiento.....	103
3.5.5 Evaluación económica.....	117
3.5.6 Periodo de recuperación.....	108
IV. CONCLUSIONES	109

V. RECOMENDACIONES	110
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
VII. ANEXOS	118
Anexo 1. Ubicación de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	118
Anexo 2. Ganado lechero de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	119
Anexo 3. Ganado vacuno de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	119
Anexo 4. Producción de estiércol 2012-2017.....	120
Anexo 5. Proyección de la producción de estiércol 2016-2019.....	122
Anexo 6. Fórmulas de método suavización exponencial doble.....	124
Anexo 7. Resultados de error en el pronóstico realizado.....	124
Anexo 8. Mezcla de estiércol y agua residual.....	125
Anexo 9. Pozos de agua en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	125
Anexo 10. Caja de tecnopor para almacenar muestra.....	126
Anexo 11. Botellas de plástico para muestras.....	126
Anexo 12. Mezcla en botellas y puesta en caja.....	127
Anexo 13. Certificado CERPER S.A.....	128
Anexo 14. Ficha técnica ventilador JFD-N Aonoudi.....	129
Anexo 15. Ficha técnica ventilador deLaval.....	129
Anexo 16. Ficha técnica ventilador Multifan.....	130
Anexo 17. Matriz de enfrentamiento para selección del biodigestor.....	130
Anexo 18. Matriz de enfrentamiento para selección del grupo electrógeno.....	131
Anexo 19. Ficha técnica Caterpillar G3306.....	131
Anexo 20. Ficha técnica Mitsubishi G S6R2-PTK.....	132
Anexo 21. Ficha técnica Caterpillar G3508.....	132
Anexo 22. Cálculo de masa (kg) del sulfuro de hidrógeno.....	133
Anexo 23. Ficha técnica tanque de homogenización.....	133
Anexo 24. Temperatura máximo y mínimo en Lambayeque Enero-Febrero.....	134
Anexo 25. Cálculo tiempo de retención.....	134
Anexo 26. Tabla salarial con beneficios sociales-Construcción civil 2018-2019.....	135
Anexo 27. Tabla de salarios-Operarios especializados 2018-2019.....	136
Anexo 28: Producción de leche en la Asociación de ganaderos de Lambayeque	137
Anexo 29. Proyección de producción de leche 2018-2022.....	140
Anexo 30. Proyección de producción de leche adicional 2018-2022.....	141

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO A-01. Área de estancia del ganado vacuno en la Asociación.....	55
PLANO A-02. Ubicación de sistema de ventilación en la Asociación.....	59
PLANO A-03. Diseño de ingeniería del sistema de tratamiento completo.....	78
PLANO A-04. Diseño de ingeniería acotado del sistema de tratamiento.....	79
PALNO A-05. Diseño en 3D del sistema de tratamiento.....	80
PLANO A-06. Distribución de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del Biogás.....	15
Tabla 2. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintos climas.....	21
Tabla 3. Sustratos con contenidos seco y húmedo.....	23
Tabla 4. Sustratos y contenidos de SV y ST.....	23
Tabla 5. Tipos de Biodigestores.....	26
Tabla 6. Tecnologías de Digestión Anaerobia.....	27
Tabla 7. Composición media de estiércol de ganado vacuno.....	35
Tabla 8. Producción de estiércol y biogás.....	36
Tabla 9. Total de cabezas de ganado 2012-2017.....	44
Tabla 10. Producción promedio anual de estiércol de ganado vacuno.....	46
Tabla 11. Proyección anual de producción de estiércol 2016-2021.....	47
Tabla 12. Resultados de los Análisis Físico-Químico de la muestra agua-estiércol.....	49
Tabla 13. Interpretación de resultados.....	50
Tabla 14. Criterios para selección de sistema de ventilación.....	51
Tabla 15. Matriz de enfrentamiento para elección del ventilador.....	52
Tabla 16. Método de Factores ponderados para la selección del sistema de ventilación.....	53
Tabla 17. Tiempo de digestión anaerobia.....	61
Tabla 18. Características de biodigestor de geo-membrana.....	63
Tabla 19. Características de biodigestor tipo hindú.....	64
Tabla 20. Características de biodigestor tipo chino.....	65
Tabla 21. Método de factores ponderados para la selección del biodigestor.....	66
Tabla 22. Tiempo de retención en relación a la temperatura.....	69
Tabla 23. Dimensionamiento del biodigestor.....	76
Tabla 24. Dimensiones del sistema de tratamiento completo.....	77
Tabla 25. Volumen y masa de componentes del biogás.....	83
Tabla 26. Criterios para selección del grupo electrógeno.....	84
Tabla 27. Método de Factores ponderados para la selección del generador de energía.....	84
Tabla 28. Costo de maquinaria.....	92
Tabla 29. Costo de materiales de construcción del biodigestor.....	93
Tabla 30. Costo de materiales para construcción de desulfurador.....	93
Tabla 31. Costo de equipos.....	94
Tabla 32. Costo mano de obra y mantenimiento.....	94
Tabla 33. Resumen-Inversión total en el año 0.....	95
Tabla 34. Depreciación de la inversión fija.....	95
Tabla 35. Depreciación de activos fijos.....	95
Tabla 36. Capital de trabajo anual – 2016.....	97
Tabla 37. Proyección de capital de trabajo.....	97

Tabla 38. Costos de producción. Costos fijos.....	99
Tabla 39. Proyección de costos fijos.....	100
Tabla 40. Costos de producción. Gastos administrativos.....	101
Tabla 41. Proyección gastos administrativos.....	101
Tabla 42. Ingresos anuales venta de leche 2018-2022.....	102
Tabla 43. Ingresos adicionales venta de leche 2018-2022.....	102
Tabla 44. Costos e ingresos año 2017.....	103
Tabla 45. Detalles del préstamos bancario.....	105
Tabla 46. Servicio de deuda.....	106
Tabla 47. Flujo de caja económica.....	107
Tabla 48. Periodo de recuperación.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la digestión anaerobia.....	18
Figura 2. Cámara de digestión.....	28
Figura 3. Gasómetro.....	29
Figura 4. Caja de entrada de materia orgánica.....	30
Figura 5. Figura de carga y descarga en el biodigestor.....	30
Figura 6. Cartuchos rellenos con fierro para eliminar H ₂ S.....	31
Figura 7. Sistema de eliminación de agua y para medición y control de presión.....	32
Figura 8. Sistema simplificado de una planta de cogeneración.....	34
Figura 9. Producción mensual promedio de una vaca lechera en Lima-2010.....	38
Figura 10. Ventiladores de techo bajo para establos.....	40
Figura 11. Organigrama de la Asociación de ganaderos.....	42
Figura 12. Ubicación de las parcelas de los animales.....	43
Figura 13. Producción semestral de estiércol (kg).....	46
Figura 14. Componentes del sistema de tratamiento.....	60
Figura 15. Funcionamiento de un biodigestor de domo fijo o tipo chino.....	67
Figura 16. Localización geográfica de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.....	68
Figura 17. Ciclo de tratamiento del proceso de biodigestión.....	86
Figura 18. Tanque de homogenización.....	87

I. INTRODUCCIÓN

La tierra posee fuentes potenciales de energía renovable, que pueden satisfacer parte de las crecientes demandas de energía. Algunas formas de energía alternativa, como la biomasa, son abundantes localmente (*Craig, Vaughan, y Skinner, 2007*).

En los países en desarrollo, las fuentes de energía no son combustibles fósiles, más bien son las materias primas combustibles, más fáciles de obtener y mucho más baratas como el estiércol animal, llamada también energía de la biomasa. En la actualidad existe tecnología para producir biogás cuyo componente principal es el metano, un gas invernadero, a través de un proceso llamado digestión anaerobia (*Craig, Vaughan, y Skinner, 2007*).

Las explotaciones ganaderas actuales, sean del tamaño que sean, provocan un negativo impacto ambiental. Afortunadamente existe un procedimiento capaz de reducir en gran medida, incluso de forma total, el impacto ambiental provocado por el estiércol. Se trata de la generación de Biogás (*Portal de Energías Renovables, 2013*).

En el km 2,5 Carretera Chiclayo – Pomalca, se encuentra ubicada la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, la cual se dedica a la crianza de ganado siendo actualmente un total de 340 cabezas de ganado vacuno, y una minoría de ganado equino y ovino; generando una gran cantidad de estiércol, aproximadamente 15 000 kg/día, el cual en su mayoría es desechado y una pequeña parte vendido a un costo muy bajo para ser utilizado como abono.

Otro punto es el ambiente en que se encuentran estos animales, siendo al aire libre y en áreas de estancia muy rústicas, a medida que cambia el clima (verano) suelen adoptar medidas para proteger al ganado de los fuertes rayos del sol. Esta medida, comúnmente, es la colocación de troncos de eucalipto que sirven de base para colocar esteras y tratar de proteger al ganado de los intensos rayos solares; así como rociadores de agua para los mismos, pero estas medidas no son suficiente ya que no cubren por completo a los animales, siendo estas condiciones no adecuadas para el ganado.

Con datos entregados de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque respecto a la producción de leche se registró una disminución partiendo desde los meses de Diciembre a Mayo (con una pérdida de producción de más de 1 000 litros diarios), siendo junio el mes donde se normaliza la producción. Siendo claros síntomas del Síndrome de Estrés por calor en animales, el cual indica que a partir de los primeros días y noches de altas temperaturas, si el ganado no puede “autorefrigerarse”, entran en situación de estrés, mantienen el hocico abierto, jadean, babean, les cuesta respirar, dejan de comer voluntariamente, y esto, asociado al aumento del consumo de energía metabólica para mantenimiento y regular la temperatura del cuerpo, produce una baja de peso vivo, y disminución de la producción láctea, al mismo tiempo se ven afectados los contenidos de grasas, proteínas, lactosa, calcio y potasio de la leche (*Rocha Julio y Gimenez Gustavo, 2008*).

Existen varias medidas que pueden mejorar las condiciones de confort térmico de establo. Dentro de ellas, podemos citar el uso de ventiladores, aspersores y nebulizadores, más allá de oferta de lugares sombreados ya sean estos naturales o artificiales en los corrales de confinamientos.

La ventilación es el promotor de pérdida de calor en el animal acelerando los cambios térmicos por convección y por evaporación. La sombra y la ventilación, combinados son las formas más utilizadas y a la vez las más económicas de promover el confort térmico de las vacas lecheras (*Sant'Anna et al., 2013*).

Frente a esta problemática surge la siguiente interrogante: ¿Una propuesta de aprovechamiento del estiércol generado por el ganado vacuno permitirá abastecer un Sistema de ventilación en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque?

Para ello se planteó el objetivo general de proponer la implementación de un sistema de ventilación abastecido por biogás proveniente del estiércol de ganado vacuno de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

Para la realización del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos: cuantificar el estiércol generado por el ganado vacuno, caracterizar la mezcla de estiércol del ganado vacuno y agua residual de los bebederos generado por la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, estimar la cantidad de energía necesaria para abastecer un sistema de ventilación dentro de la Asociación, diseñar un sistema de tratamiento del estiércol vacuno para la obtención del biogás; finalmente, realizar un análisis costo-beneficio de la propuesta.

Los beneficios que trae consigo este proyecto son, principalmente, aumentar la producción de leche en la asociación al brindarles al ganado lechero un lugar más ventilado y fresco en época de verano, lo cual favorece en la producción de leche y peso vivo del ganado; de esta manera aumentarán los ingresos de dicha Asociación. Además, reducir la cantidad de estiércol y darle un buen uso al obtener biogás; lo que contribuye a mejorar la calidad de suelo, aire y agua; al evitar el contacto del estiércol con el suelo y la gran cantidad de presencia de gases del efecto invernadero.

Finalmente el beneficio propio, al aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera profesional para la realización del proyecto.

II. MARCO REFRENCIAL

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Vásquez et al. (2017), en su estudio *“Influencia del sistema de enfriamiento sobre la productividad del Ganado bovino lechero en el Valle de Huaura, Perú”*, realizan una comparación de la influencia de un sistema de enfriamiento (ventilación continua y aspersion de agua) sobre los niveles productivos, reproductivos y económicos del ganado bovino lechero durante el verano de 2012, en comparación con veranos anteriores donde no se contaba con sistemas de enfriamiento. Se analizaron los registros de 890 vacas en producción de dos establos lecheros del valle de Huaura, Lima, Perú. Se tomaron datos de producción de leche, sólidos totales, tasa de concepción, servicios/ concepción y costo-beneficio. El establo 2 logró un incremento sustancial de producción de leche por efecto del sistema de enfriamiento, en tanto que en el establo 1 se observó un incremento en el porcentaje de sólidos totales, pero con una merma en la tasa de concepción. Los resultados demuestran que la utilización de un sistema de enfriamiento (ventiladores y aspersores) para combatir el estrés calórico en vacas lecheras puede ser efectivo.

Bombal et al. (2015), en *“Estrés calórico en Chile y opciones de mitigación”*, indica que las vacas de alta producción sufren estrés por calor en verano, aun cuando sean unos pocos meses durante el año, lo que lleva a una disminución anual de la producción de leche y de la eficiencia de la alimentación. De tal manera, el objetivo de este documento es presentar la información necesaria para comenzar a acercarse al tema de estrés calórico, desconocido hasta hoy por muchos, conociendo las condiciones de estrés calórico de las zonas lecheras y las prácticas posibles de implementar para mitigar esta condición y con ello mejorar las condiciones de bienestar animal y así contribuir a la rentabilidad y sustentabilidad del establecimiento. El resultado de esta investigación, mediante la observación y la experiencia, mostraron que las vacas que viven en ambientes confortables, con buena ventilación y con un buen manejo del estrés calórico, producen más leche y viven vidas más largas y saludables.

Fernández et al. (2014), en su estudio *“Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el Departamento de Madre de Dios”*, propusieron el aprovechamiento y manejo de residuos ganaderos orgánicos para la generación de energía mediante la instalación de tecnologías para la generación de biogás y biol, y de esta manera mejorar la calidad de vida del poblador rural. La investigación se inició en el establo pecuario Juanita, con la construcción e instalación de un reactor tubular de geo-membrana de PVC de 10m³ con capacidad de reserva de 5m³ para el gas metano (CH₄) generado por la descomposición anaeróbica de estiércol de ganado bovino y porcino. Recopilándose datos diariamente en función a las variables establecidas a partir de los objetivos específicos, durante un periodo de 6 semanas. El estudio determinó que en condiciones ambientales, se puede generar gas metano con combustión completa a partir del día 10 en porcinos y 12 en bovinos, después de la primera carga de residuos orgánicos al reactor, con un tiempo de retención para la investigación de 30 días, lográndose obtener también biol a partir de esta etapa del estudio. Con estos resultados es factible plantear la implementación de tecnologías de manejo de residuos sólidos en centros pecuarios para la generación de energías renovables.

Vera et al. (2014), en su investigación ***“Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino”***, estiman el potencial que tiene la región de Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo para la producción de biogás a través de excretas de ganado vacuno y porcino, además de estimar la generación de energía que se podría obtener empleando este biocombustible como recurso energético para producir energía eléctrica que se aplicaría al alumbrado municipal de esta misma región. Se empleó información del último censo agropecuario del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para conocer la población de ganado, posteriormente, se estableció una cantidad de estiércol por tipo de animal y edad acorde a un tamaño promedio. Se calculó la cantidad de estiércol total y se estimó la cantidad de biogás que se podría obtener, así como la energía eléctrica. Representando un ahorro de energía eléctrica de 4,23% que corresponde para 2013 a un monto de \$18 300,000 pesos aproximadamente, con un costo promedio de 2,326 pesos por cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Doroteo, Juan (2012) en su investigación ***“Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México”***, demostró que el Biogás es una opción real en la oferta de energías sustentables, con sustanciales ventajas comparativas respecto de otras fuentes, además que contribuye en la disminución del consumo de combustibles fósiles y fuente de energía que en este caso en particular son costosas y poco accesibles, reduce el efecto de la contaminación local y regional en el establo “Los Montañero” y ayuda al fortalecimiento de la economía familiar. Para ello inició una búsqueda de antecedentes en diferentes partes de la República Mexicana que diera un panorama más amplio de la producción de Biogás, posteriormente se inició con el muestreo y caracterización de las excretas, para el diseño del biodigestor se tomó la metodología propuesta en la tesis denominada "Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón Las Naves – Provincia de Bolívar” de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil Ecuador (2009), posteriormente determinó la composición porcentual de los componentes del Biogás obtenido, En la realización del estudio se obtuvieron resultados que muestran que el Biogás obtenido cumple con los requerimientos para ser aprovechado en la generación ya sea de energía eléctrica o en uso para generar calor, esto aun teniendo en cuenta que el establo se Resumen IX encuentra en un lugar con clima regularmente frío, En los resultados finales se observó que no eran los mismos comparados con otros proyectos realizados en lugares con climas más cálidos, debido a que la digestión anaerobia actúa más eficientemente a temperaturas altas, pero, aun así los resultados en el biodigestor fueron suficientes para obtener Biogás con las características necesarias para su aprovechamiento.

Villanueva et al. (2011) en su investigación ***“Generación, caracterización y uso del Biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino”*** generó y caracterizó el biogás en un biodigestor modelo DM-1 (con una capacidad de 1 100 litros) utilizando excretas de ganado bovino, dicho biodigestor contó con un sistema mecánico de homogenización, una entrada “influyente” y una salida “efluente”, una salida más para la recuperación de biogás y en este caso una para el sistema de monitoreo. Se evaluaron a nivel laboratorio dos cargas de materia orgánica con tiempos de retención de 29 y 10 días para la digestión de la materia orgánica, se trabajó con

las variables de temperatura, control de pH y presencia de inóculo, dado que con ellas se permite el adecuado desarrollo de las 4 fases de digestión anaerobia y se favorece al incremento de la producción de biogás. El promedio de producción de biogás para la primera y segunda carga fue de 1,20 y 1,53 litros/ kilogramos de sustrato, respectivamente. En la caracterización del biogás se obtuvo un $74\% \pm 0,24$ de metano (CH_4), valores que se encuentran dentro del intervalo señalado como óptimo para su utilización como fuente alterna de energía, se concluyó de manera satisfactoria los objetivos generales y específicos, además de confirmar la hipótesis de que el biogás generado en la fermentación de excretas de ganado vacuno como una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Biogás

A. Origen

Según *Eroski Consumer (2005)* el origen del biogás surgió de la siguiente manera:

La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso.

En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticos, textiles, etc.

Uno de los residuos más utilizados por su rápida fermentación, disponibilidad directa, gran cantidad y fácil recojo. Este residuo es uno de los más dañinos para el medio ambiente, ya que genera grandes cantidades de metano. Pero gracias a este método de biodigestión se reduce en grandes cantidades este gas del efecto invernadero.

En este sentido, un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria presentó recientemente un proyecto para la puesta en marcha de este proceso, al mismo tiempo ya se contactó con parte del sector ganadero para el tratamiento de los residuos orgánicos generados por sus actividades.

El biogás es un producto del metabolismo de las bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de tejidos orgánicos en ambiente húmedo y carente de oxígeno.

Durante el proceso de descomposición anaeróbica, se puede obtener entre otros, etanol, metanol y gas metano en cantidades apreciables, además de algunos compuestos orgánicos que son transformados a minerales, que pueden ser utilizados fácilmente como fertilizantes para los cultivos.

B. Definición

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismo y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita. Dicho gas es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas.

La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (*Asociación Española de Biogás, 2014*).

C. Composición

La composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del Biogás

Composición del Biogás	Concentración			Valores	Unidad
	30 días	60 días	90 días		
Metano CH ₄	59,34	66,18	62,89	60,80 ± 3,42	% en volumen
Dióxido de Carbono CO ₂	30,95	30,06	31,25	30,75 ± 0,62	% en volumen
Nitrógeno N ₂	7,35	3,27	3,27	5,30 ± 2	% en volumen
Oxígeno O ₂	2,3	0,47	0,47	1,22 ± 0,96	% en volumen
Sulfuro de hidrógeno H ₂ S	15	16,58	16,58	15,96 ± 0,19	ppm

Fuente: Castro, Alejandra, y Durán Carmen (2002).

D. Ventajas del Biogás

El uso del biogás está teniendo un auge cada vez más ascendente, debido a sus grandes ventajas, no sólo económicas sino también ambientales, sociales, entre otros. Según *Cruz (2013)* las ventajas del biogás son:

- ✓ No daña el medio ambiente. mejora las condiciones higiénicas, y es una fuente de energía moderna.
- ✓ El Biogás es un combustible que usa como materia prima recursos renovables (desechos orgánicos) por lo tanto se puede considerar una fuente de energía renovable.
- ✓ Reduce las emisiones de metano al medio ambiente. este es uno de los gases invernaderos más potente (21 veces mayor que el CO₂).
- ✓ En comparación con otras energías renovables como el viento y la luz solar, el biogás no depende de las condiciones del clima, ni del horario del día.

- ✓ El fácil de producir, no requiere grandes plantas industriales ni complicados procesos físicos y químicos, por lo tanto se puede producir en casi cualquier lado, incluso en casas.
- ✓ La biomasa no sólo genera biogás, sino que aparte genera un subproducto de excelentes condiciones para ser usado como fertilizantes.

E. Desventajas del Biogás

Así como sus grandes ventajas, el biogás también tiene claras desventajas las cuales según *Cruz (2013)* son:

- ✓ El proceso es muy sensible a la acidez y temperatura.
- ✓ La combustión y en el proceso de producción de Biogás se genera CO₂, que es un gas invernadero (se genera en menor proporción que en la combustión de los combustibles fósiles).
- ✓ En comparación con el gas licuado de petróleo, la cantidad de energía producida por un volumen similar de ambos gases (LP y Biogás), el biogás genera aproximadamente la mitad de energía que es el Gas LP.

F. Aplicaciones del Biogás

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

- ✓ **Producción de calor o vapor:** El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.
- ✓ **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad:** Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria.

Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes >100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones.

- ✓ **Combustible para vehículos:** El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas

natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas. además del sistema de gasolina normal de combustible.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje (Porcentaje de Octano que contiene la gasolina) que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido (*Leiva, 2004*).

Según *Gómez (2012)* para hacerse una idea, una familia de 4 miembros requiere para 5 horas de cocina diarias 1 m³ de biogás, que totalmente quemado es suficiente para:

- ✓ Generar 1,25 kWh de electricidad.
- ✓ Generar 6 horas de luz equivalente a una bombilla de 60 W.
- ✓ Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante una hora.
- ✓ Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 minutos.
- ✓ Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas:

- ✓ A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 Bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.
- ✓ La conversión de los motores es costosa (instalación similar a la del gas natural) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- ✓ Por último la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso

2.2.2 Digestión Anaeróbica

Según *Acosta (2005)* la digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como biogás y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica.

La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales.

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), cuya composición depende tanto de la materia prima

como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %.

Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.

Por otro lado, la masa restante biodegrada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos así como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

A. Etapas de la Digestión Anaerobia

El proceso de degradación anaerobia se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Un gran número de microorganismos, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas. En la práctica ingenieril se acostumbra a considerar tres etapas para residuos sólidos o lodos (hidrólisis, Acidogénesis, metanogénesis) y dos para residuos líquidos (acidogénesis y metanogénesis); el enfoque más novedoso lo constituye el de las cuatro etapas: hidrólisis, Acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Acosta, 2005).

En la Figura 1 se observan las etapas de la digestión anaerobia, así como los componentes que intervienen en cada una de ellas.

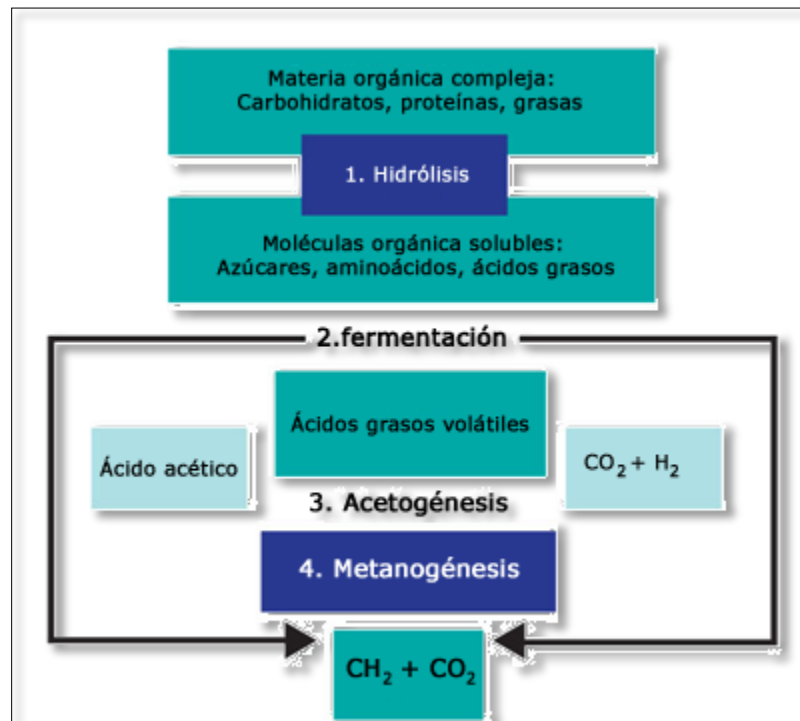


Figura 1. Etapas de la digestión anaerobia.

Fuente: Village Energy (2011).

1. Hidrólisis

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y Dióxido de Carbono.

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su mayoría anaerobios facultativos, es decir que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, además pueden obtener energía en ausencia de oxígeno, pero el oxígeno no les es tóxico (*Varnero, 2011*).

2. Acidogénesis o fermentiva

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (*Varnero, 2011*).

La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

3. Acetogénesis

En la etapa de acetogénesis, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono (*Varnero, 2011*).

4. Metanogénesis

En la etapa final del proceso, las bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas.

Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas).

La principal vía de producción de metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido. Este es un proceso lento y constituye la etapa limitante del proceso de degradación anaeróbica (*Varnero, 2011*).

B. Parámetros operacionales a controlar en la digestión anaerobia

➤ Temperatura

Según *Martí (2006)* la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayor producción de biogás.

La temperatura de operación del digester, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaerobia. Variaciones bruscas de temperatura en el digester pueden provocar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digester, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia:

- ✓ Psicofílico: Temperatura ambiente.
- ✓ Mesofílico: Temperaturas de 25 a 45°C; ideal 30-40°C.
- ✓ Termofílico: Temperaturas de 45 a 65°C; ideal de 50-60°C.

➤ pH y alcalinidad

En el período inicial de la fermentación, los microorganismos productores de ácido crecen rápidamente; pueden producir grandes cantidades de ácidos orgánicos, que no pueden ser consumidos por los microorganismos formadores de metano.

El pH en el interior del digester puede caer rápidamente. Esto inhibe o incluso detiene el proceso de la digestión o fermentación.

En el rango de pH del proceso de digestión anaerobia, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el del dióxido de carbono/bicarbonato.

Estudios previos han demostrado que valores de la alcalinidad del bicarbonato por encima de 2 500 mg/l, asegura un buen control del pH y una adecuada estabilidad del sistema. La producción óptima de biogás se logra cuando el valor del pH está entre 7 y 7,1 (*Martí, 2006*).

➤ Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digester. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás (*Martí, 2006*).

Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintos climas

TRH	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos.

Fuente: Martí (2006).

➤ **Velocidad de carga orgánica**

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida en el reactor por unidad de tiempo y volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y tiempo de retención fijado.

En ausencia de inhibidores, la existencia de altas cargas orgánicas proporciona altas producciones de Biogás, sin embargo, puede aumentar el riesgo de sobrecargas que conlleven a la acidificación del proceso (*Martí, 2006*).

➤ **Agitación en el reactor**

Según *Villanueva et al. (2011)* la agitación en el reactor tiene los siguientes beneficios:

- ✓ Pone en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos metanogénicos al favorecen la salida de los gases.
- ✓ Proporciona una densidad uniforme de la población bacteriana al interior del reactor.
- ✓ Elimina la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.
- ✓ Previene la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales.
- ✓ Elimina la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.

✓ El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático, la velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar la homogenización pero sin romper los agregados bacterianos.

➤ **Nutrientes**

Según *Pastor (2005)*, los nutrientes:

Se considera que la proporción de Carbono, Nitrógeno y Fósforo en su rango óptimo es de C/N/P= 150/5/1. La presencia de estos nutrientes es necesaria, pero debe darse en la proporción adecuada para que no obstaculice el desarrollo bacteriano.

Otros tipos de nutrientes, como sulfuro, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobalto, zinc, etc., son también necesarios en pequeñas cantidades.

Cuando la relación de los nutrientes es muy inferior a la óptima, la velocidad de reacción disminuye, en cambio, cuando los valores son superiores, se crean problemas de inhibición del proceso biológico.

La presencia del amonio o de nitrógeno orgánico en el afluente, produce la inhibición del proceso biológico con la consecuente disminución de producción de gas y una caída moderada de pH.

➤ **DBO / DQO (Cantidad de materia orgánica)**

Según el portal Web *Hidritec (2011)*, los parámetros utilizados para conocer el contenido de materia orgánica de un residuo son: la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), representan indirectamente el contenido de materia orgánica de un residuo a través del oxígeno necesario para oxidar químicamente (DQO) o biológicamente (DBO) la materia orgánica.

Un aumento de la carga con materia orgánica disuelta, supone un desequilibrio de las tres etapas de biodigestión.

Se produce un aumento rápido en la presencia de ácidos volátiles, la producción de gas se incrementa asimismo rápidamente y el pH disminuye.

Un aumento de la carga con materia orgánica en suspensión, provoca un desequilibrio en las tres etapas con un efecto de lavado en las bacterias (salen del reactor con el efluente de salida), se produce un aumento de ácidos volátiles y la producción de gas se incrementa moderadamente.

➤ **Contenido en sólidos totales**

Según *Gómez (2012)* la cantidad de sólidos totales de entrada representa la humedad del afluente, así un valor de un 10% en Sólidos totales significa una humedad de la corriente de 90%.

Si aumenta la media de sólidos en suspensión del efluente, se provoca un lavado de las bacterias (salen del reactor como corriente de salida), se produce un aumento progresivo de ácidos volátiles, lo que hace disminuir lentamente la producción de gas.

En la Tabla 3 se muestran diferentes sustratos y sus contenidos secos y húmedos; así mismo en la Tabla 4 se muestran los contenidos en sólidos totales y volátiles.

Tabla 3. Sustratos con contenidos seco y húmedo

Materia	Contenido Seco (%)	Contenido hídrico (%)
Excretas humanas	20	80
Estiércol de cerdo	18	82
Estiércol de vaca	17	83

Fuente: *Gómez (2012)*.

Tabla 4. Sustratos y contenidos de SV y ST

Materia		Sólidos totales (ST)	Sólidos volátiles (SV)	Grasas	Proteína
Estiércol porcino	Frescos %	27,4	20,97	3,15	3
	Totales %	100	76,54	11,5	10,95
	SV %	-----	100	15,03	14,31
Estiércol vacuno	Frescos %	20	15,8	0,65	1,81
	Totales %	100	76,89	3,23	9,05
	SV %	-----	100	4,2	11,77
Estiércol de aves	Frescos %	68,9	56,64	2,96	6,36
	Totales %	100	82,20	2,84	9,56
	SV %	-----	100	3,46	11,58

Fuente: *Gómez (2012)*.

2.2.3 Biodigestor

Para *Martí (2006)*, un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos.

El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro; este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento.

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- ✓ Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- ✓ Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- ✓ Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- ✓ Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- ✓ Tener acceso para el mantenimiento.

A. Tipos de biodigestores

Martí (2006) dice que, los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización.

Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación.

Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

a) Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo.

Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras, corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control, dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

b) Semi continuos: Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor.

Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y chino.

c) Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

En la Tabla 5, se puede observar tanto ventajas como desventajas de los tipos de biodigestores más difundidos y puestos en marcha a nivel mundial.

Tabla 5. Tipos de Biodigestores, ventajas y desventajas.

TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Biodigestor tubular, Geomembrana, tipo salchicha o taiwanés (Sistema continuo)</p>	<p>*Prefabricación estandarizada se obtiene a bajo costo. *Uso sobre el nivel de tierra es factible en lugares con alto nivel de las aguas subterráneas. *Se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas. *Fácil de limpiar, mantener y vaciar.</p>	<p>*Baja presión de gas por lo que se requieren bombas de gas. *No se puede eliminar la parte sólida en la superficie del sustrato a digerir durante la operación.</p>
<p>Biodigestor de cúpula fija o tipo chino</p>	<p>*Tiene bajo costo y larga vida útil. *No posee componentes móviles y partes oxidables. por tener una forma cilíndrica y estar enterrado, lo cual favorece el proceso de fermentación, ya que existe poca influencia por los cambios de temperatura. *El diseño es básico, no requiere de mucho espacio y se encuentra bien aislado. *La construcción crea oportunidades de trabajo localmente.</p>	<p>*Cúpula de gas requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para la construcción impermeable del biodigestor. *Fugas de gas ocurren frecuentemente. *La presión del biogás es variable y eso complica su uso. *La excavación puede resultar costosa en suelos muy rocosos</p>
<p>Biodigestor campana flotante o tipo hindú</p>	<p>*Es fácil de operar. *Genera biogás a presión constante y la cantidad es rápidamente visible por la posición de la cúpula de gas. *Es impermeable.</p>	<p>*La cúpula de acero es relativamente costosa y requiere mucho mantenimiento. *Se debe remover el óxido de la cúpula y aplicar pintura regularmente. *La vida útil de la cúpula de acero es relativamente corta (sobre 15 años, pero en regiones costeras tropicales alrededor de cinco años). *Es limitado al uso de ciertos sustratos ya que la cúpula flotante tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos</p>

Fuente: ODEPA, 2009.

La digestión anaerobia utiliza reactores (biodigestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de los animales.

Es por ello que se requiere evaluar las alternativas teniendo en cuenta ciertos parámetros o características; como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Tecnologías de Digestión Anaerobia

Características	Laguna cubierta	Completamente mezclado	Flujo pistón	Película fija
Contenedor de digestión	Laguna profunda	Tanque redondeado/cuadrado en/Sobre el terreno	Tanque rectangular en el terreno	Tanque sobre el terreno
Nivel de tecnología	Bajo	Medio	Bajo	Medio
Calor adicional	No	Sí	Sí	No
Sólidos totales	0,5-3%	3-10%	11-13%	3%
Características	Fina	Gruesa	Gruesa	Muy fina
TRH (días)	40-60	15+	15+	4+
Localización óptima	Clima templado y cálido	Todos los climas	Todos los climas	Clima templado y cálido

Fuente: Castro, Alejandra y Durán, Carmen (2002).

B. Componentes de un biodigestor

Según *Martí (2006)*; los biodigestores o reactores anaeróbicos son los recipientes donde ocurre el proceso de transformación del sustrato o materia orgánica en biogás y bioabonos (biol y biosol), por acción de los microorganismos, en ausencia total de oxígeno; por lo que se les debe propiciar determinadas condiciones para su buen funcionamiento:

- ✓ Garantizar hermeticidad para evitar fugas de gases o líquido fermentado.
- ✓ Brindar seguridad contra fuego directo y explosiones.
- ✓ Recolectar y trasvasar los gases producidos.
- ✓ Facilitar la agitación parcial o total del sustrato en fermentación.

Los elementos comunes de los biodigestores que garantizan su correcto funcionamiento son:

- ✓ **Cámara de digestión**

Como se observa en la Figura 2, la cámara de digestión es la parte central del biodigestor o fermentador. Aquí ocurren los procesos bioquímicos que transforman la carga o materia orgánica alimentada a en biogás y bioabonos.

Puede ser de ladrillo, hormigón, hormigón armado, plástico u otro material que asegure las condiciones requeridas de resistencia e impermeabilidad (Córdova y Miño, 2015).

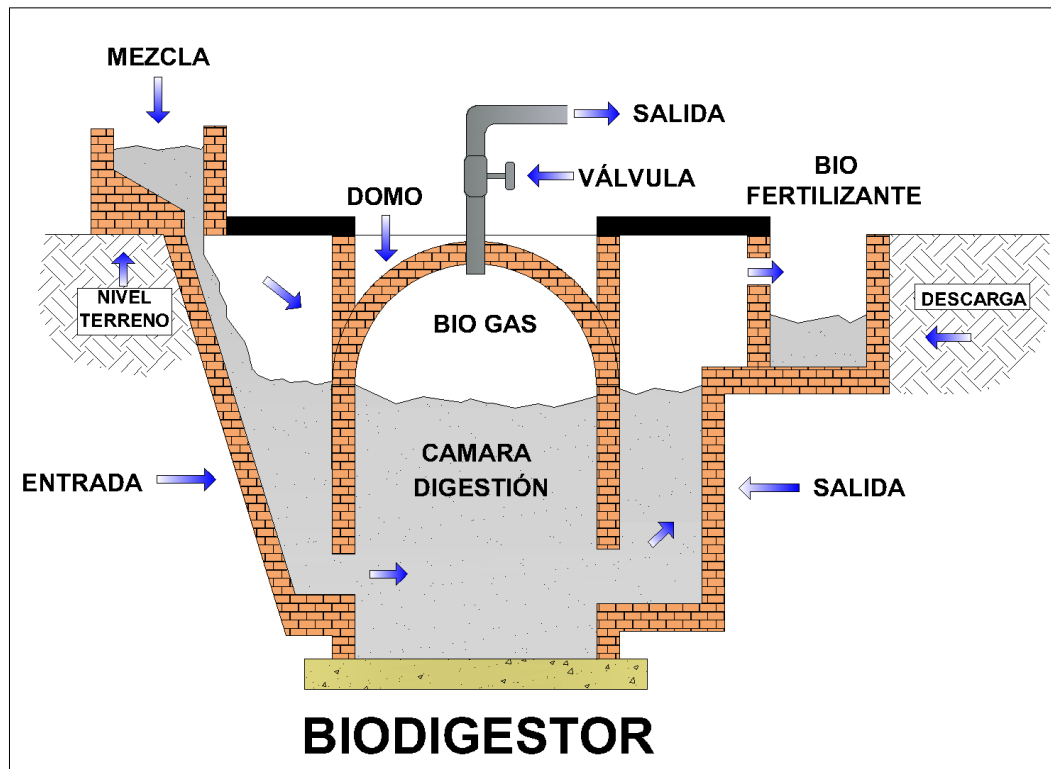


Figura 2. Cámara de digestión.

Fuente: Guerrero (2014).

✓ Cámara de gas o gasómetro

Es la parte del sistema donde se almacena el biogás producido durante la fermentación, por lo que debe construirse a prueba de fugas (Córdova y Miño, 2015).

Según Giraldo y Espinoza (2005), los gasómetros pueden ser:

- De cúpula fija: El gasómetro es parte integrante de la cámara de digestión. La presión se mantiene e incrementa por la producción de biogás durante la fermentación, con el correspondiente desplazamiento del líquido que se está fermentando hacia el sistema de salida de efluente líquido.
- De depósito flotante: El gasómetro puede estar instalado fuera del biodigestor sobre un lecho de agua o se puede instalar directamente sobre el biodigestor. El depósito o campana flotante puede ser de fierro o de plástico rígido.

- De material plástico: El biogás se recoge en una bolsa plástica hecha de caucho, polietileno o geomembrana de PVC. Tiene el inconveniente de una presión irregular, lo cual influye negativamente sobre la utilización del biogás. Este tipo de gasómetro se puede instalar directamente sobre el biodigestor.

En la Figura 3, se observan el gasómetro y las partes que lo componen.

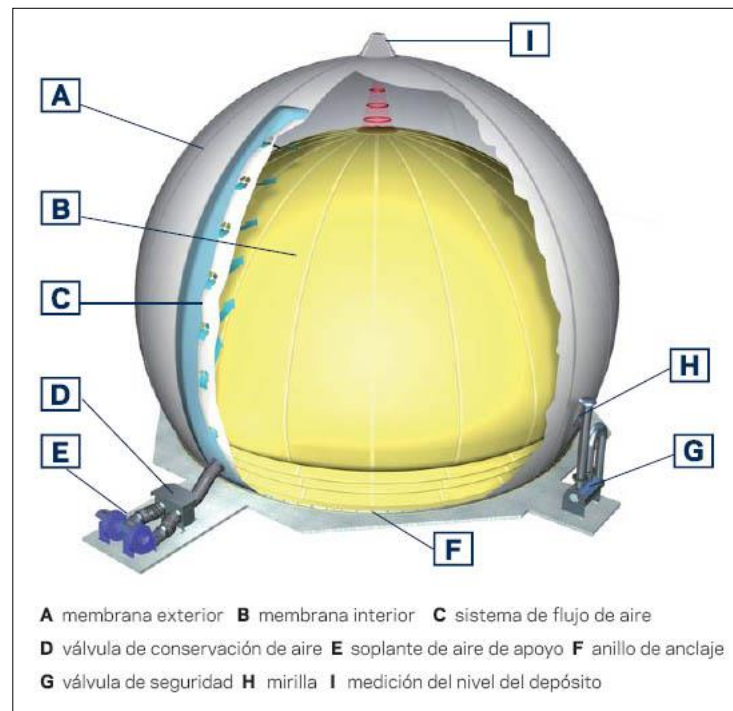


Figura 3. Gasómetro

Fuente: Sattler (2014).

✓ Alimentación o entrada de la materia orgánica (sistema de carga)

Permite la alimentación del biodigestor. En algunos casos se diseña para permitir la homogenización del material de carga, y a la vez se pueda realizar el control de sólidos totales y pH del sustrato; de lo contrario, debe contarse con un tanque de metal o de plástico de 200 litros donde se mezclará la materia orgánica con el agua, permitiendo además la eliminación de los sólidos que floten, los que pueden obstruir el tubo de entrada del biodigestor o causar problemas de funcionamiento del sistema (Córdova y Miño, 2015).

Es el lugar donde se deposita la mezcla, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Caja de entrada de materia orgánica

Fuente: Olmedio (2010).

✓ **Salida del efluente (sistema de descarga)**

Según lo dicho por *Córdova y Miño (2015)*, su función es garantizar la descarga del líquido (biol) o de los lodos digeridos (biosol) para su posterior utilización como abonos orgánicos.

Debe estar más abajo del nivel de carga, para facilitar su salida por diferencia de presión hidráulica como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5. Figura de carga y descarga en el biodigestor

Fuente: Sattler (2014).

✓ **Sistema de purificación del biogás**

Según *Córdova y Miño (2015)*, los sistemas de purificación permiten eliminar contaminantes del biogás para su uso como combustible.

✓ **Eliminación del sulfuro de hidrógeno (Desulfurador)**

De todos los componentes del biogás, el que causa mayor problema para su utilización es el sulfuro de hidrógeno (H_2S) por su olor desagradable y alto poder corrosivo. La no eliminación provocará un deterioro rápido de todas las instalaciones, con las correspondientes pérdidas económicas. Para eliminar el sulfuro de hidrógeno se hace pasar la corriente de biogás por un cartucho relleno con lima duras viruta de hierro o clavos. Puede instalarse un solo cartucho de forma horizontal o dividirlo en dos cartuchos verticales, siendo ésta última la mejor opción porque el biogás pasará de manera descendente por el primer cartucho y ascendente por el segundo cartucho.

En la figura 6 se puede observar dos desulfuradores continuos instalados en un huerto.



Figura 6. Cartuchos rellenos con fierro para eliminar H_2S

Fuente: UNASAM (2015).

✓ **Eliminación del dióxido de carbono**

El CO_2 se puede eliminar utilizando una solución de agua de cal (1,8 kg de CaO en 1 000 litros de agua para eliminar 560 litros de CO_2). Esta solución no es factible para ser utilizada a gran escala debido al gasto excesivo de reactivos y acumulación de subproductos.

Otra vía para eliminar CO_2 , es utilizando soda cáustica (11,5 kg de $NaOH$ en 1000 litros de agua para eliminar 3 200 litros de dióxido de carbono). Este proceso no es rentable por el alto valor de la soda, además puede provocar graves quemaduras en su manejo. Se utiliza a escala de laboratorio.

✓ **Eliminación de agua**

El biogás producido puede tener vapor de agua, que por condensación forma gotas que se acumulan en los puntos más bajos de las tuberías de conducción de biogás. Con el tiempo la cantidad de agua condensada aumenta, llegando a dificultar y en ocasiones a impedir la circulación del biogás. Para eliminar esta agua condensada de las tuberías se coloca un drenaje o una trampa de agua en la parte más baja de la tubería (Figura 7).

✓ Sistema de control de presión

La presión debe ser medida y controlada rigurosamente para mejorar la operación y la eficiencia de los equipos que utilicen biogás como combustible. Como se muestra en la figura 7, se emplea un manómetro de tubo de vidrio o de manguera de ¼” en U con agua; o una botella de 1,5 litros llena con agua hasta ¾ de su volumen, en ella se introduce 15 cm de un ramal de la tubería que conduce el biogás, con ranuras cada 1 cm. En el caso del manómetro, el biogás empujará el agua de la rama desplazándola por el tubo en U, la diferencia de altura entre ambas ramas será la presión que ejerce el biogás en todo el sistema, expresada en cm de agua. Cuando se emplee la botella, se la deberá desamarrar y bajarla lentamente para que vaya saliendo el ramal introducido en el agua de la botella, en el momento en que salgan burbujas por este ramal se debe contar el número de líneas marcadas en el tubo que aún quedan sumergidas en el agua, esa será la presión en cm de agua.



Figura 7. Sistema de eliminación de agua para medir y controlar de presión

Fuente: UNASAM (2015).

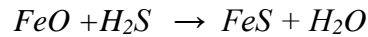
✓ Desulfurador

La presencia de sulfuro de hidrógeno le da un olor desagradable al biogás y provoca graves daños de corrosión en tuberías, tanques y otros elementos metálicos. Además, la presencia de este gas también puede afectar la utilización del biogás en motores (*Guerrero y Montalvo, 2013*).

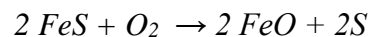
Existen varias tecnologías físico-químicas desarrolladas para la remoción de este gas desde emisiones gaseosas industriales, basadas en reacciones químicas, y adsorción, las cuales utilizan soluciones de CaCO_3 , microorganismos y reactivos químicos que contengan hierro en su compuesto. Estos tipos de tratamientos implican altos consumo de insumos los que elevan los costos de operación (*Oyarzún, et al., 2012*).

Entre los métodos de separación de H_2S , el más comúnmente empleando por su sencillez es el denominado *método de la caja seca*, que consiste en el uso de viruta de hierro dentro de un recipiente por el que se hace pasar el biogás. Está constituida por un recipiente lleno con material de hierro finamente dividido formando un lecho poroso a través del cual debe circular el gas para que reaccione con el metal y se deposite en el lecho (*Varnero, 2012*).

Según Burbano (2006), la condición de porosidad se alcanza utilizando como relleno virutas de hierro o esponjillas de cocina de marca comercial. En este recipiente se produce una reacción del H₂S con el hierro, descomponiéndose en sulfuro férrico (FeS), sustancia no perjudicial.



Este material filtrante es susceptible de ser reutilizado permitiendo la oxigenación de este, entonces el sulfuro férrico se oxidaría con el oxígeno y el azufre se liberaría en su forma más simple.



Algunos autores afirman que la viruta de hierro, además de servir como trampa de H₂S sirve como trampa de llama al evitar el reflujo de la misma hacia el digestor, previniendo explosiones accidentales. Estos materiales tienen la ventaja de ser de bajo costo y de oponer poca resistencia al flujo de gas, aspecto importante en razón de las bajas presiones que se manejan en este tipo de sistemas.

La forma del recipiente y las características del material utilizado para su construcción depende del criterio del diseñador. El único requisito es el de que sean completamente herméticos para evitar fugas de gas.

De tal modo; el método que se usará para purificar el biogás es el uso de limallas de hierro, que se efectúa en columnas de purificación, las cuales se encontrarán humedecidas irregularmente con agua (30 – 60 % de humedad) y rellenas con otro material (chatarra).

✓ **Grupo electrógeno (Generador de energía)**

Es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico (Patiño, 2008).

✓ **Digestores anaeróbicos**

Los digestores anaeróbicos no son una nueva tecnología, habiendo sido usados a escala de granja por muchos años en países en desarrollo. Sin embargo se han hecho mejoramientos en los digestores para que sean más compactos, de costo reducido y que sean más fáciles de manejar.

Algunos progresos se han realizado, pero a la fecha no hay “un tamaño óptimo de digestor que se ajuste a todos” los establos lecheros. Cada situación es única, y un análisis de diseño debe ser llevado a cabo antes de decidir su construcción (Funk, 2007).

El costo de los digestores anaeróbicos para la producción y utilización de biogás variará con el tipo y tamaño del sistema, tipo de operación ganadera y condiciones específicas del sitio (Bothi y Aldrich, 2005).

En la Figura 8 se muestra el sistema simplificado de una planta de cogeneración de biogás, con todas las partes anteriormente mencionadas.

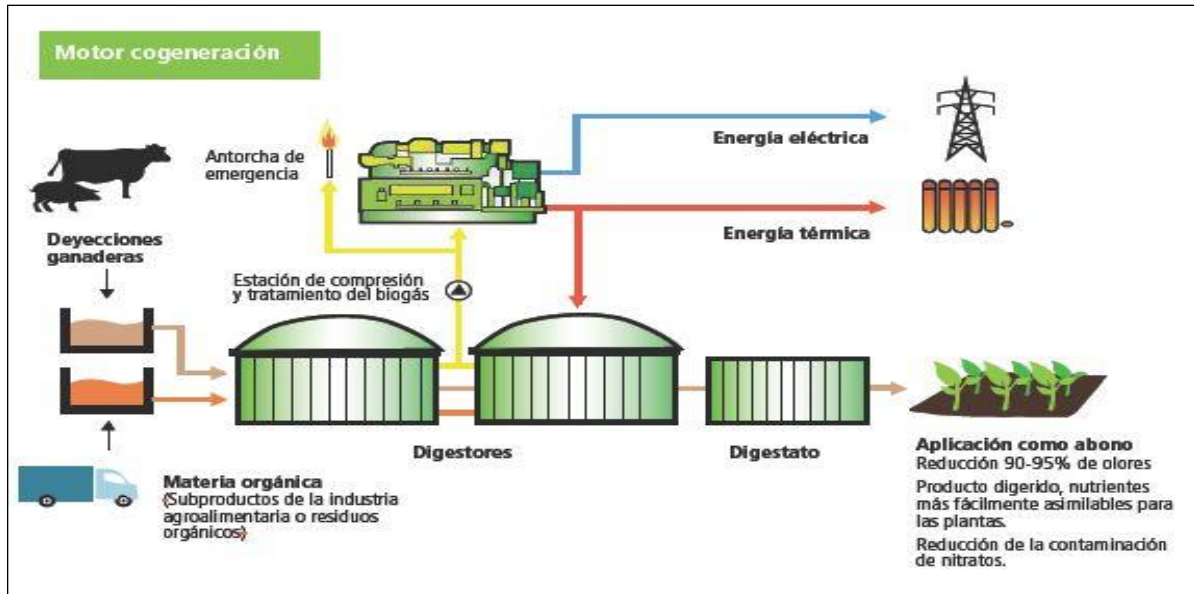


Figura 8. Sistema simplificado de una planta de cogeneración

Fuente: Proyecto Energías Renovables no Convencionales (2012).

2.2.4 Estiércol de ganado vacuno

Es una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, procedente del tracto digestivo de los animales, contienen residuos no digeridos de alimentos, y factores digestivos como enzimas, jugos gástricos, pancreáticos y células muertas de la mucosa intestinal, bacterias vivas y muertas del colon y productos del desecho del metabolismo (Toala, 2013).

El estiércol es el excremento de animales de ganadería, el cual se compone de una mezcla de material orgánico digerido y orina, que es utilizada para fertilizar el suelo. Este es un estiércol seco que se puede usar como combustible. De todos los tipos de estiércol, es el más relevante y el más producido en las explotaciones rurales (Acosta, 2012).

La composición del estiércol se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7. Composición media de estiércol de ganado vacuno

Composición media de estiércol de ganado vacuno (porcentaje de la materia seca)		
Parámetro	Vacunos	Clasificación
Materia orgánica (%)	45,50	Bajo
Nitrógeno total (%)	2,31	Medio
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , PPM)	220	Bajo
Potasio (K ₂ O, %)	2,76	Bajo
Calcio (CaO, %)	4,14	Bajo
Magnesio (MgO, %)	4,96	Bajo
Zinc (ppm)	32	Bajo
Cobre (ppm)	6,35	Bajo
pH	7,10	Neutro
Conductividad eléctrica (1:1 dS m ⁻¹)	2,30	Normal

Fuente: Mamani (2012).

A. Usos del estiércol

Según *Duvauchelle (2014)*, los usos más comunes y relevantes del estiércol son:

- ✓ **Contenido orgánico:** El estiércol animal contiene materia orgánica rica que se ha pasado a través del sistema digestivo del animal. Esto, a su vez, aumenta la materia orgánica en el suelo, que tiene numerosos beneficios.
- ✓ **Aumenta la retención de nutrientes en el suelo:** El humus encontrado en los fertilizantes de estiércol de animales tienen una carga eléctrica negativa. Esta carga ayuda a aumentar la arena y la capacidad de las partículas de suciedad para agarrar y retener los nutrientes esenciales.

Con el tiempo, esta capacidad puede ayudar a mantener y construir los niveles de nutrientes en general de tu suelo.

- ✓ **Más ecológico:** El uso del estiércol como fertilizante recicla los nutrientes que fueron suministrados a los animales. Este reciclaje ayuda a utilizar mejor los recursos de la tierra. Los nutrientes del estiércol también son más difíciles de lixiviar fuera de la suciedad en las fuentes de agua y aguas subterráneas circundantes, protegiendo la calidad del agua de tu comunidad (*Manual de cultivos orgánicos y alelopatía, 2004*).

B. Estiércol para obtener biogás

Por medio de este procedimiento se permite aprovechar unos residuos como son las deyecciones del ganado (estiércol), de otro modo de difícil o costoso tratamiento, para la producción de un excelente recurso energético limpio, que es el biogás. Esto a la vez de solucionar el problema de la contaminación del estiércol, evita el uso de fuentes de energías fósiles y de su negativo impacto en el medioambiente.

Como subproducto queda además un limo que resulta un excelente fertilizante. Debido a las claras ventajas que aporta la producción de biogás en las explotaciones agro ganaderas es por lo que instalaciones para producir biogás están siendo cada vez más aplicadas en muchos países del mundo (*Portal de Energías Renovables, 2013*).

En la tabla 8 podemos ver, la generación de biogás así como la energía generada por *Mago (2014)* en su estudio “*Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa biodigestor*”.

Tabla 8. Producción de estiércol y biogás

Vacunos	Unidad	Cantidad
Peso vivo por animal	Kg	520
Total de estiércol	kg/kg peso vivo animal por día	0,086
Total de estiércol	kg/día	43
Producción de biogás	m ³ /día	1,1
Producción de energía	kW/día	0,34
Biogás / kg estiércol	l/kg*día	28,91

Fuente: Mago (2014).

2.2.5 Estrés por calor (EC)

El estrés calórico se presenta cuando el calor generado por el organismo del animal, sumado al calor absorbido del ambiente, es mayor que su capacidad para disiparlo (*Lima et al., 2014*).

El estrés calórico se presenta en los meses de verano y repercute negativamente en la ganadería lechera, específicamente en vacas de alta producción, siendo este uno de los principales impactos económicos negativos que atraviesan los establos lecheros en la costa norte del Perú (*Renatto y Delgado, 2015*).

El estrés calórico en el ganado lechero de alta producción ocasiona una menor síntesis de lactosa y, con ello, una reducción en la producción de leche. Asimismo, afecta el ciclo estral (o ciclo reproductivo) por alterar el proceso de selección folicular y aumenta la duración de las ondas foliculares, lo que resulta en una menor calidad de los ovocitos, así como reducción de la duración e intensidad del estro (*Pedersen, 2014*).

En épocas de estrés calórico se puede reducir la tasa de concepción a niveles de 10% y la producción de leche puede disminuir entre 10 y 30%, en parte debido a una disminución de ingesta de alimento, aunque la razón principal se debe a un efecto directo del estrés calórico (*Flamenbaum, 2013*).

A. Efectos del estrés por calor

Según *González (2000)*, el estrés por calor va a ser el desencadenante de una serie de problemas metabólicos que no son sino respuestas fisiológicas al estrés calórico. Entre los diversos problemas relacionados con el estrés por calor están el déficit nutricional y de energía (cetosis), la alcalosis respiratoria, la acidosis ruminal y cojeras. Los cambios metabólicos y nutricionales incluyen la alteración en el consumo de alimento y el metabolismo energético, de proteína,

balance hídrico, metabolismo electrolítico y equilibrio ácido-base asociado y el estatus endocrino. Las vacas responden al estrés por calor mediante diversos mecanismos fisiológicos:

- 1) Disminución de la actividad corporal.
- 2) Búsqueda de sombra o viento.
- 3) Reducción en la ingesta de alimento.
- 4) Disminución en la rumia.
- 5) Incremento en la pérdida de agua por evaporación (sudoración).
- 6) Incremento en la ingesta de agua.
- 7) Incremento en el ritmo respiratorio.
- 8) Incremento en la temperatura corporal (rectal).
- 9) Cambios en las concentraciones hormonales sanguíneas.
- 10) Cambios en los índices metabólicos (electrolitos y equilibrio ácido-base).

La vaca es un animal que se encuentra en un estado de bienestar en un rango de temperaturas que va desde los 6° C los 22° C, empezando a desencadenar la situación de estrés cuando la temperatura sobrepasa los 26 ° C (*Campo Galego, 2017*). Es decir, temperatura y humedad elevadas provocan los siguientes efectos en el ganado vacuno de leche:

- Descenso de la producción: baja el consumo de materia seca entre 20-30%, disminuye también la digestibilidad de la ración, la actividad ruminal y la producción de ácidos grasos con un desequilibrio en la síntesis de acético y propiónico.
- Descenso de la actividad reproductiva: incremento del intervalo entre partos, desequilibrios hormonales que tienen efectos negativos en la ovulación, implantación y supervivencia embrionaria.
- Inmunosupresión: hay una pérdida del estado de salud, haciendo las vacas más sensibles a los patógenos.

✓ Efectos en la producción lechera

Jimenez (2011), en su estudio “*Estrés por calor en vacas de leche*” explica que; el estrés por calor afecta negativamente a las vacas en todas las etapas de producción incluyendo a las vacas secas, aunque en forma y proporciones diferentes. La vaca de leche es particularmente sensible al calor y el comportamiento más evidente es la disminución en la ingestión de alimento y como consecuencia en la producción de leche.

La reducción voluntaria de la ingestión de materia seca es la principal estrategia de la vaca para reducir el incremento térmico corporal, esta reducción llega hasta en un 25% y la consecuencia obvia es la reducción en producción de leche. Debido a una reducción en las concentraciones de hormonas como la tiroxina y los glucocorticoides disminuye el metabolismo basal para que se reduzca la producción de calor y esto a su vez induce a la disminución en el consumo de alimento. Las vacas de alta producción y las que llevan poco tiempo paridas son más susceptibles al estrés por calor a diferencia con las que están a mitad de la lactación y a las que no producen mucha leche.

Las vacas recién paridas reducen su pico de lactación, en una vaca próxima al secado o de baja producción el estrés afectará más a la acumulación de reservas que en cierta medida determinarán la siguiente lactación.

En general podemos decir que las vacas sometidas al estrés pueden perder de un 5 a un 10% de su potencial productivo. En España al igual que en muchos países durante el verano la producción de leche baja y esta leche tiene un menor contenido en proteína y en grasa y el recuento de células somáticas se eleva. Según datos del *Registro Nacional Israelí*, las vacas paridas en verano producen de 4 a 6 kg/día menos en el pico de lactación que las de invierno y esto se traduce en una diferencia de hasta 1 000 kg por lactación. No solamente porque el estrés por calor afecta más a las vacas que están en producción solamente hay que prestarles atención a ellas sino también a las vacas secas, novillas y terneras.

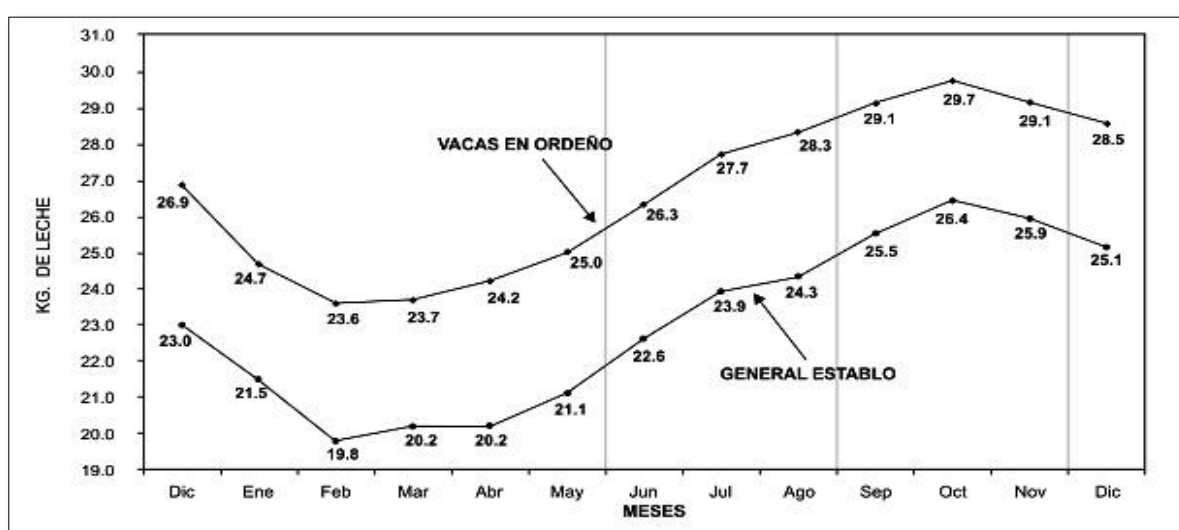


Figura 9. Producción mensual promedio de una vaca lechera en el Departamento de Lima-2010
Fuente: Perú Láctea (2010).

En la figura 9 se puede observar el promedio diario de la producción de leche de una vaca (existen vacas que producen hasta 30 L diarios y hasta más según la especie, Holstein y Fleckvieh, llegan a producir hasta 60 L al día como observamos en la figura 9). Lo que sobresale de los datos son la baja en la producción que sufre el ganado en los meses donde se inicia el verano (Dic-Ene-Feb-Mar-Abr), avalando de esta manera lo hasta ahora expuesto en esta investigación: la baja producción de leche en temporada de verano generado por el estrés calórico.

2.2.6 Métodos para mitigar los efectos del estrés por calor

Según *Palladino (2018)*; existen diversas formas de mitigación del estrés por calor, las más comunes están relacionadas con el manejo del ambiente: sombras naturales y artificiales, ventilación y aspersión en sala de ordeño y en zonas de comederos, manejo de los horarios de ordeño y comidas. También es posible gestionar las dietas para amortiguar el impacto negativo del calor (uso de grasas bypass, dietas frías, etc.). Trabajos recientes realizados en Uruguay han demostrado beneficios del uso de sombras y otras alternativas de manejo contra el estrés

calórico en zonas templadas, resultando en aumentos de producción del orden de los 2 a 5 litros por vaca al día dependiendo del momento de la lactancia.

El mojado previo al ordeño es otra de las estrategias con alto impacto en los sistemas productivos. La recomendación es combinar ciclos de mojado con ciclos de ventilación forzada.

Con el mojado los animales pierden calor en contacto con el agua mientras que durante el ciclo de ventilación la humedad se disipa. El enfriamiento puede realizarse previo al ordeño y un periodo de 45 minutos es suficiente para disipar el calor.

B. Sistemas de ventilación

Es la técnica que permite sustituir el aire interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características.

El sistema de ventilación permite cambiar, renovar y extraer el aire interior de un recinto y sustituirlo por aire nuevo del exterior (*Castillo et al., 2014*).

✓ Tipos de ventilación

Según *Castillo et al. (2014)*, existen dos tipos de ventilación:

- **Ventilación natural:** Es la que emplea la fuerza del viento y las diferencias de temperatura para lograr el movimiento del aire. Sus principios básicos son: la diferencia de altura, diferencias de temperatura. acción del viento, carga térmica.
- **Ventilación forzada:** También conocida como ventilación mecánica, es el proceso mediante el cual se suministra o extrae aire de un determinado espacio, utilizando dispositivos mecánicos (ventiladores) con el objetivo de controlar los niveles de calor, extraer gases contaminantes, diluir partículas y polvillos producto de procesos industriales y proveer oxígeno necesario para el personal o habitantes del recinto.

Este tipo de ventilación es usada cuando la ventilación natural es insuficiente o no tiene la capacidad de mantener un espacio determinado en condiciones confortables como se observa en la figura 10.



Figura 10. Ventiladores para establos de techos bajos

Fuente: Sant'Anna et al. (2013).

C. Ventilación en Establos Ganaderos

La ventilación como se mencionó anteriormente constituye la parte más activa de la climatización de los alojamientos ganaderos. Su fin principal sería mantener dentro de unos límites aceptables los vapores nocivos, gases y, al mismo tiempo, aportar el necesario aire fresco a los ambientes donde viven los animales. En período de verano la ventilación es ante todo un regulador de la temperatura.

El ambiente de los animales normalmente se limita a lo que ocurre en el establo y alrededores, con lo cual se debería tener en cuenta hasta seis áreas distintas: descanso, alimentación, ordeño, circulación, ventilación y bioseguridad.

Una buena ventilación, junto con el confort del animal, es uno de los aspectos más importantes de una instalación (*Trillo, 2014*).

- **Parámetros en el área de ventilación en establos**

Según *Trillo (2013)*; los parámetros a tomar en cuenta en el área de ventilación instalados en un establo ganadero son:

- ✓ Orientación del ventilador: Debe estar adaptada a las condiciones climáticas de la zona o región. El eje longitudinal debe ser perpendicular a los vientos dominantes. Se debe proteger el norte del ventilador de las lluvias, si es el caso.
- ✓ Corriente de aire: Los vientos dominantes no deben cruzar el pasillo de alimentación la velocidad del viento en el mismo no debe superar los 8 o 12 km/h para evitar desperdicio de alimento.

- ✓ Signos de ventilación escasa: Se deben evitar signos de ventilación escasa tales como humedad o gotas de condensación en los techos. Se puede consultar el índice combinado de temperatura/humedad relativa (THI).

- ✓ Aislamiento de los techos: Colocando materiales aislantes se evitan oscilaciones bruscas de temperatura y contribuyen a mantener una temperatura constante en el interior del lugar.

- ✓ Sistemas mecánicos: permiten mantener las vacas frescas cuando se superan los 20°. Para ello se utilizan ventiladores orientados sobre las vacas y flujo de aire en la misma dirección. Se recomienda combinarlo con aspersores sobre el dorso de las vacas en el comedero.

III. RESULTADOS

3.1. CUANTIFICAR EL ESTIÉRCOL GENERADO POR EL GANADO VACUNO EN LA ASOCIACIÓN DE GANADEROS DE LAMBAYEQUE

3.1.1. Descripción de la empresa

La Asociación de Ganaderos de Lambayeque, está ubicada en el km 2,5 Carretera Chiclayo - Pomalca (Ver Anexo 1), se dedica a la realización de ferias, buscando la participación de las diversas delegaciones ganaderas de Trujillo, Piura, Chachapoyas, Cajamarca, entre otros; para el intercambio de ideas en producción, la exhibición de sus especímenes de raza, compra y venta de ganado, así como la venta de leche y derivados de ésta (*Villegas Campos, José Nelson - Presidente de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque*).

Además, los miembros de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque se dedican a la crianza de ganado vacuno, equino y ovino; para diferentes fines, ya sean matanza, venta de leche (ellos comercializan la leche a empresas como Gloria y Nestlé), entre otros fines. El organigrama de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque se puede visualizar en la Figura 11.

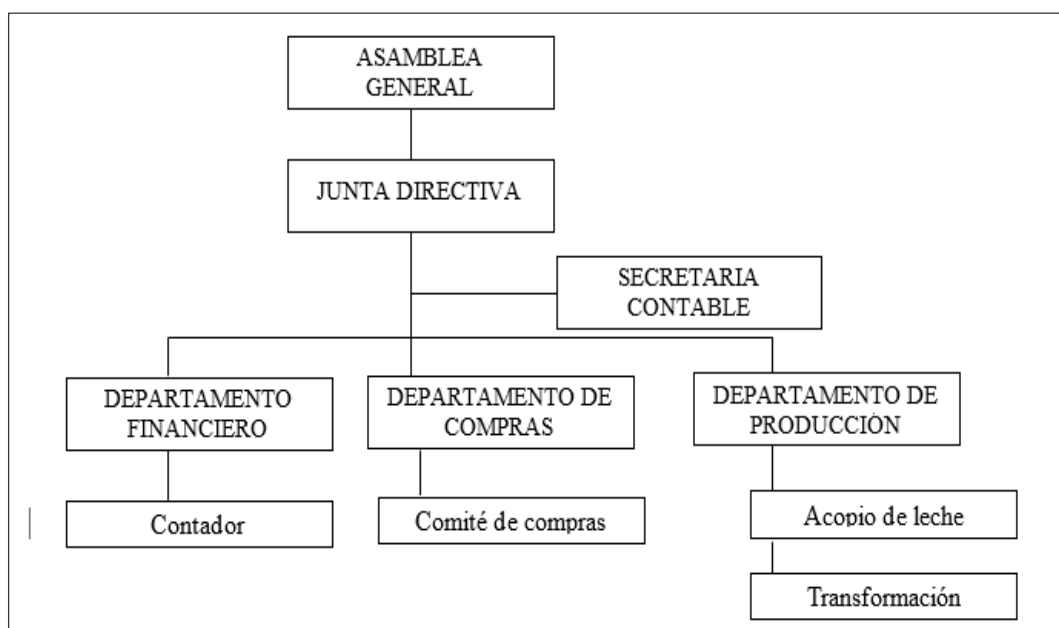


Figura 11. Organigrama de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

En la actualidad, año 2018, cuenta con aproximadamente 340 cabezas de ganado vacuno (Ver Anexo 2 y 3) siendo en su gran mayoría vacas lecheras y toros que son vendidos por su carne; siendo esta cantidad variable con el tiempo.

En la figura 12 se muestra la ubicación de las parcelas de los animales de la asociación de Ganaderos de Lambayeque.

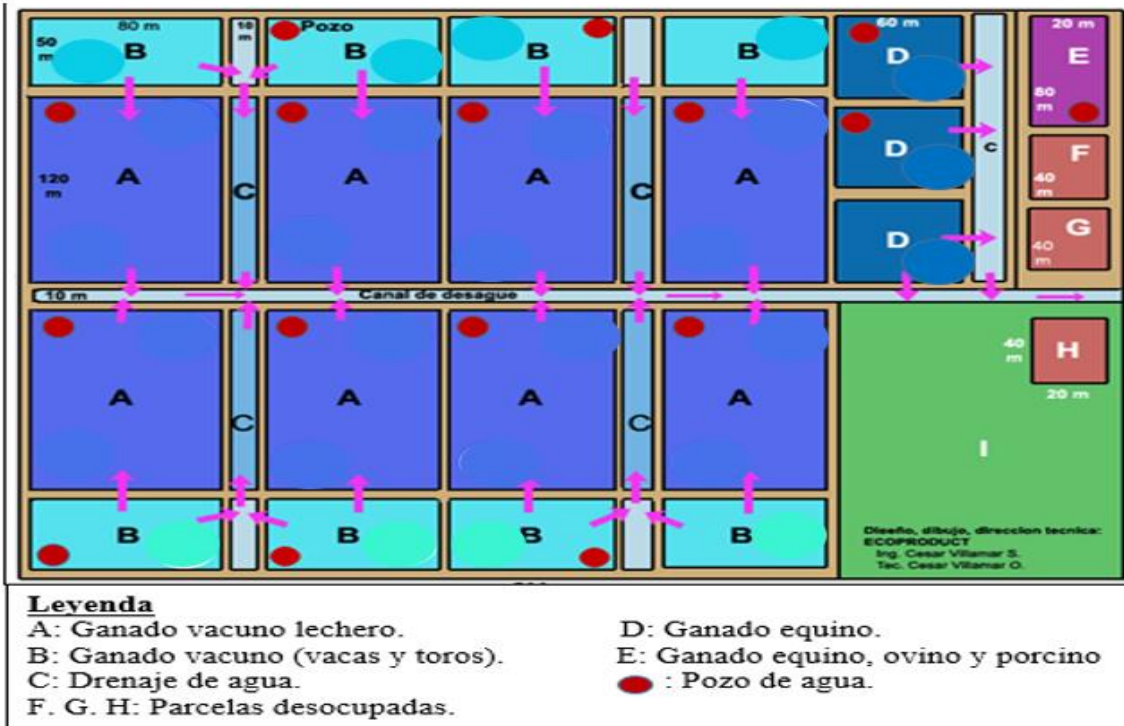


Figura 12. Ubicación de las parcelas de los animales en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

3.1.2. Cuantificación del estiércol de ganado vacuno en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

El estiércol fresco es la mejor materia prima utilizada para la producción de biogás; se pueden usar cualquier otro tipo de residuos orgánicos, evitando residuos duros (cáscaras duras) o de larga duración de descomposición. El estiércol con mayor capacidad de generación de biogás es el porcino.

El estiércol más utilizado y que ha dado buenas respuestas es el vacuno, por ser un estiércol equilibrado en su composición, además por cada cabeza de ganado se produce una gran cantidad de estiércol, y por tanto es el más fácil de recoger.

La importancia de cuantificar la cantidad de estiércol que produce actualmente y que producirá en los próximos años la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, radica en que es la materia prima del proceso de digestión anaerobia el cual dará como producto biogás y subproducto un fertilizante líquido (biol).

Además es lo que permitirá conocer si la energía generada es suficiente para abastecer el Sistema de ventilación que se propone instalar.

Para ello es necesario conocer la cantidad de ganado vacuno existente en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, cuya información está dada en la Tabla 9.

Tabla 9. Total de cabezas de ganado 2012-2017

AÑO	MES	TOTAL CABEZAS DE GANADO
2012	Enero	339
	Febrero	341
	Marzo	330
	Abril	345
	Mayo	337
	Junio	342
	Julio	330
	Agosto	343
	Septiembre	342
	Octubre	335
	Noviembre	337
	Diciembre	336
2013	Enero	339
	Febrero	329
	Marzo	333
	Abril	345
	Mayo	344
	Junio	344
	Julio	340
	Agosto	326
	Septiembre	335
	Octubre	339
	Noviembre	339
	Diciembre	337
2014	Enero	335
	Febrero	344
	Marzo	327
	Abril	330
	Mayo	332
	Junio	330
	Julio	342
	Agosto	338
	Septiembre	340
	Octubre	336
	Noviembre	344
	Diciembre	331
2015	Enero	338
	Febrero	329
	Marzo	330
	Abril	331
	Mayo	342
	Junio	335
	Julio	340
	Agosto	328
	Septiembre	338
	Octubre	327
	Noviembre	339
	Diciembre	343

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

Tabla 9. Total de cabezas de ganado 2012-2017 (Continuación)

2016	Enero	338
	Febrero	329
	Marzo	330
	Abril	331
	Mayo	342
	Junio	335
	Julio	340
	Agosto	328
	Septiembre	338
	Octubre	327
	Noviembre	339
	Diciembre	343
2017	Enero	338
	Febrero	329
	Marzo	330
	Abril	331
	Mayo	342
	Junio	335
	Julio	340
	Agosto	328
	Septiembre	338
	Octubre	327
	Noviembre	339
	Diciembre	343

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

3.1.3. Producción de estiércol

Uno de los aspectos más importantes de cualquier empresa agrícola basada en animales es el tener un plan eficaz para el manejo de desperdicio, el cual acumula los beneficios y ayuda a reducir los riesgos asociados con el uso y desecho de los desperdicios animales (*Ebletom Karla, 2010*).

Las explotaciones ganaderas actuales, sean del tamaño que sean, provocan un negativo impacto ambiental. Por un lado consumen una importante cantidad de energía a la vez que, sobretodo, generan grandes volúmenes de un residuo, como es el estiércol, que contamina el aire y el agua. Afortunadamente existe un procedimiento capaz de reducir en gran medida, o incluso de forma total, el impacto ambiental provocado por el estiércol. Se trata de la generación de biogás (*Portal de Energías Renovables, 2014*).

En las explotaciones ganaderas de vacuno, cerdo o aves, se generan grandes cantidades de estiércol, que es una excelente materia orgánica para biodigerir y producir gas, ya que contienen una importante cantidad de energía.

La producción en un biodigestor para el tratamiento del estiércol de ganado vacuno, se caracteriza por ser continua y masiva, el ritmo de producción es constante, debido a que el ganado defeca numerosas veces al día y en gran cantidad manteniendo, de esta manera, una

producción poco variable. Por lo tanto, la producción de estiércol es una producción constante o de nivel.

La tabla 10 muestra la cantidad promedio anual de cabezas de ganado y la producción de estiércol anual en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque; la cantidad de estiércol disponible se calculó mediante la multiplicación del total de cabezas de ganado disponible en el establo por el número de días que corresponde a cada mes (Ver Anexo 4).

La producción diaria se calculó en base a lo establecido por *Mago (2014)*, donde indica que dice que un animal vacuno produce 43 kg/día de estiércol (Ver tabla 10).

Tabla 10. Producción anual de estiércol de ganado vacuno

Año	Promedio de cabezas de ganado	Producción Diaria (kg)	Producción Mensual (kg)	Producción Anual (kg)
2012	338	15 214	464 020	5 568 233
2013	338	15 188	461 951	5 543 438
2014	336	15 109	459 558	5 514 694
2015	335	15 075	458 531	5 502 375
2016	317	13 631	408 930	4 907 160
2017	321	13 803	414 090	4 969 080

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

Para conocer qué tan variables son los datos calculados anteriormente se realiza un gráfico con los datos agrupados semestralmente (Figura 13). De esa manera se muestra que no existe un comportamiento con una variabilidad alta entre ellos.

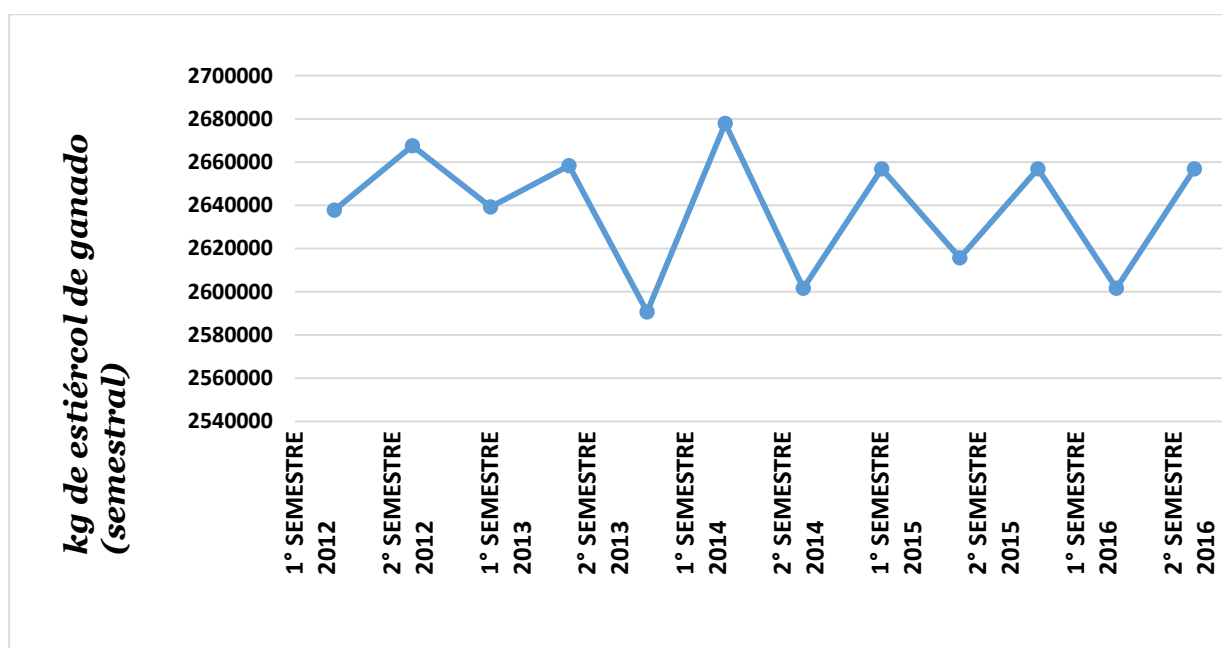


Figura 13. Producción semestral de estiércol (kg)

En base a los datos proporcionados por la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, podemos pronosticar la producción de estiércol de ganado vacuno en los próximos 5 años (2018, 2019, 2020, 2021 y 2022) (Ver Anexo 5).

3.1.4. Proyección de la producción de estiércol

Las proyecciones fueron realizadas por medio del Método de Suavización Exponencial Doble o también conocido como Método de Holt (Ver Anexo 6). El cual es óptimo para patrones de demanda que presentan una tendencia, al menos localmente, y un patrón estacional constante, en el que se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en períodos de demanda reciente; cuyo comportamiento se observa en la Figura 13.

En este caso, los coeficientes de suavización (α y β) fueron 0,5 para ambos; con el fin de mantener un equilibrio entre ambos; así mismo el coeficiente de correlación calculado fue de 0,95. Obteniéndose de esta manera los datos mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Proyección anual de producción de estiércol 2018-2022

Año	Promedio cabezas de ganado	Producción diaria (kg)	Producción mensual (kg)	Producción anual (kg)
2018	338	15 213,605	464 014,964	5 568 179,57
2019	337	15 174,447	461 556,099	5 538 673,18
2020	336	15 131,572	460 251,972	5 523 023,66
2021	334	15 036,75	457 367,818	5 488 413,82
2022	338	15 213,605	464 014,964	5 568 179,57

Además, al aplicar el método de suavización exponencial doble, se midieron los errores en el pronóstico

Siendo el más relevante el Porcentaje Medio de Error (PME), ya que indica que el método no está desviado por tener un valor de cero (0,00), siendo precisamente ese valor el ideal; por ende el método aplicado es el correcto para el tipo de datos (Ver anexo 7).

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y AGUA DE LOS BEBEDEROS GENERADOS EN LA ASOCIACIÓN DE GANADEROS DE LAMBAYEQUE

Según *Gómez, Pablo (2014)*, son muchos los elementos que pueden entrar a formar parte del estiércol y, por lo tanto, es difícil fijar tanto la cantidad que se produce como las características de composición del mismo.

Son muy variados los factores que influyen en la cantidad producida y en el contenido de nutrientes del estiércol, pero entre ellos podemos destacar:

- ✓ **Tipo de ganado:** Tanto la cantidad como los nutrientes presentes en el estiércol varían tanto con la especie como dentro de ésta con el tipo de ganado.
- ✓ **Alimentación:** La dieta que se suministra al ganado depende tanto del tipo de ganado como del destino del animal. La dieta no es igual para un animal destinado al engorde que para un animal que está en crecimiento para reposición; esto hace que varíe tanto la cantidad de estiércol producido como el contenido en nitrógeno, fósforo y potasio.
- ✓ **Condiciones ambientales:** Hay que considerar factores tales como la adición de agua bien de lluvia o de limpieza, si se compacta o no y si contiene desperdicios.
- ✓ **Duración y condiciones de almacenado:** El almacenamiento es básico, sobre todo para evitar las posibles pérdidas de nutrientes.

Para esta propuesta se cree conveniente caracterizar la mezcla de estiércol con agua de los bebederos en relación de 1:1, por el motivo que en ese estado es como será introducida la materia prima al biodigestor para dar inicio al proceso de biodigestión.

Esto debido a que el estiércol por sí sólo no puede ser introducido al biodigestor sino que requiere de un componente que ayude a diluirlo, en este caso se cree necesario que se mezcle con el agua de los bebederos ubicados dentro de los corrales del ganado.

3.2.1 Procedimiento de la caracterización de la mezcla

La importancia de caracterizar el agua residual (mezcla de estiércol y agua en relación de 1:1) radica en que en ese estado es como será introducida la materia prima al biodigestor para dar inicio al proceso de biodigestión.

En el laboratorio de Certificaciones del Perú S.A. (CERPER), se realizó el análisis químico del agua residual (agua de los pozos de alimentación del ganado mezclado con estiércol), cuyos pasos previos son los citados a continuación:

1. Los pozos ubicados en todas las parcelas dentro de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque donde los animales beben directamente el agua contenida fue mezclada con estiércol del ganado, en relación de 1:1 (es decir, 1 litro de agua residual mezclada con un kg de estiércol) ya que de esa manera se concluyó que ingresará al biodigestor (Ver anexo 8). Se necesitó de un total de 2 litros de agua proveniente de los bebederos instalados dentro de las áreas de estancia del ganado vacuno (Ver anexo 9).
2. CERPER S.A., brindó el material necesario para el envío de la muestra, el cual consistió en:
 - ✓ 1 caja de tecnopor embalada con papel film y cinta de embalaje (Ver anexo 10).
 - ✓ 2 botellas de plástico de un litro cada una: 1 botella para el análisis de DQO y 1 botella para el análisis del DBO (con ácido sulfúrico) (Ver anexo 11).
3. Se procedió a llenar las botellas con la mezcla y se colocó en la caja de tecnopor para el envío (Ver anexo 12).
4. El envío se llevó a cabo en Olva Currier - Chiclayo.

5. Al cabo de 15 días enviaron el certificado con los resultados (Ver anexo 13).

Tabla 12. Resultados de los Análisis Físico-Químico de la muestra

Parámetros	Resultado
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /l) (LD: 10,0 mg O ₂ /l)	12 290
Demanda Biológica de Oxígeno (mg /l) (LD: 2,00 mg/l)	11 700

LD: Límite de detección.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A. (CERPER).

3.2.3 Importancia y Comparación de resultados con valores teóricos

Comparando los resultados obtenidos, los cuales se encuentran en la Tabla 12; con los resultados teóricos dados en la Tabla 12. Se concluye que los datos obtenidos de los análisis realizados a la muestra de estiércol se encuentran dentro de los rangos establecidos por los autores *García (2009)* en la Investigación “Producción de Biogás a partir de residuos agrícolas”.

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicar la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. La importancia de este parámetro requiere de ciertos cuidados y atención en la técnica analítica, ya que por ser un proceso biológico el manejo y tratamiento de la muestra es delicado (*Ingeniería de tratamiento de aguas residuales*).
- ✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. Difiere de la DBO en que en esta última prueba solo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable (*Ingeniería de tratamiento de aguas residuales*).

Es importante porque es un indicador de cuánta materia orgánica se está degradando para ser convertida en biogás (*Nayono et al, 2010*)

Según *Huerga (2016)*, la relación de DBO/DQO puede ser tomada como un indicador para conocer el grado de biodegradabilidad que tiene un efluente líquido. Como valor de referencia se toma 0,4; esto quiere decir que por encima de dicho valor sería posible realizar un tratamiento biológico cuya finalidad sea reducir por estos medios el contenido de materia orgánica.

Según los resultados obtenidos por el análisis realizado (Tabla 13), la relación DBO/DQO es de 0,95; con lo que podemos concluir que dicha mezcla posee las características químicas necesarias para obtener biogás.

Tabla 13. Interpretación de resultados

Agua : estiércol (1kg:1kg)	DQO (mg O₂/l)	DBO (mg/l)
Resultado	12 290	11 700
Interpretación	La cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que existió en la muestra líquida es de 12 290 mg O ₂ /l.	La cantidad de materia orgánica susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contenía la muestra líquida es de 11 700 mg/l.

Fuente: García, 2009.

Según *Zahlten (2015)*, 1 kg de DQO produce 0,35 m³ de CH₄, así que en relación con los resultados obtenidos del análisis de la tabla anterior (12 290 mg de DQO) se obtendría 0,005 m³ de CH₄ por cada litro de mezcla. Teniendo en cuenta que la mezcla está constituida por partes igual (1 kg de estiércol y 1 kg de agua), se puede decir que se producirá 0,005 m³ de CH₄ por un kilogramo de estiércol.

3.3 ESTIMACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMA DE VENTILACIÓN

3.3.1 Sistemas de ventilación para establos

La manera más común de reducir los efectos del Estrés por calor (EC) en la vaca lechera y demás animales es cambiando el ambiente de la vaca para reducir la magnitud de las fuerzas del estrés. La meta debe ser minimizar la elevación en temperatura corporal causada por el estrés para que la vaca no necesite emplear ajustes fisiológicos que comprometen la producción o que pueda sentir temperaturas internas que afecten adversamente las funciones corporales.

Hay un desarrollo continuo de nuevos enfoques en la ingeniería para mitigar el EC. Todos se basan en aumentar la pérdida de calor a través de conducción, convección, evaporación o alguna combinación de los tres. En algunos casos, la nueva tecnología es adoptada por las lecherías antes que se obtengan los datos científicos necesarios para estudiar rigurosamente la efectividad de estos nuevos aparatos o sistemas de enfriamiento (*Extension.org, 2014*).

Existen diferentes sistemas de ventilación, con variables aspectos técnicos y económicos. Para elegir el más adecuado, se aplicó el Método de Factores Ponderados; desarrollándose previamente una matriz de enfrentamiento, para calcular los pesos relativos (%) para cada factor.

Los ventiladores elegidos fueron De Laval DF 500, JFD-N Aonoudi y Multifan, ya que son dos de los más vendidos en el mercado y para la instalación en establecimientos ganaderos como el de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

En la tabla 14 se muestran los criterios que fueron tomados para la selección del sistema de ventilación, para la elección fue de vital importancia los datos técnicos de cada ventilador que están dados en las fichas técnicas de cada uno (Anexo 14, 15 y 16).

Tabla 14. Criterios para selección de sistema de ventilación.

FACTORES	DELAVAL DF500	JFD-N AONOUDI	MULTIFAN
Fácil instalación (FI)	Si	Si	Si
Consumo de electricidad (CE)	1,3 kW/h	370 W	3,4 kW
Tamaño (T) (altura*ancho*espesor)	1 635mm*1 350mm*1300mm	800mm x 800mm x 500mm	295mm * 295mm * 210mm
Velocidad (V)	550 RPM	560 RPM	450 RPM
Nivel de ruido (NR)	67 dB	≤ 70 dB	67 dB
Peso (P)	45 kg	50 kg	52 kg
Recirculación y reparto de aire (RRA)	48 500 m ³ /h	18 000 m ³ /h	48,4 m ³ /h
Vida útil (VU)	5 años	5 años	5 años
Costo (C)	S/.399,99	S/.249,99	S/.398,99
Fuente bibliográfica (Fichas bibliográficas-anexos)	<i>De Laval</i>	<i>ATW Adversiting.</i>	<i>Vostermans Ventilation</i>

El método de factores ponderados es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios; la aplicación conlleva un paso previo de determinación de las opciones sobre la que decidir, así como de identificación de criterios y de valoración del peso o ponderación que cada uno de ellos tendrá en la toma de decisiones (Aiteco, 2015).

En la siguiente tabla 15 se muestra el desarrollo de la matriz de enfrentamiento, cuyos resultados serán determinantes para la toma de decisión. En la primera columna se nombran los factores que son importantes para la elección del sistema de ventilación y en la primera fila se repiten en el mismo orden. Cada factor se enfrentará con uno diferente para determinar cuál de los dos es más relevante, colocándose el valor “1” para el elegido y “0” para el que no lo fue.

Tabla 15. Matriz de enfrentamiento para elección de ventiladores

FACTORES	FI	CE	T	M	NR	P	RRA	VU	C	Conteo	Ponderación
FÁCIL INSTALACIÓN (FI)	x	0	0	1	1	0	0	0	0	2	5,6%
CONSUMO DE ELECTRICIDAD (CE)	1	x	1	1	1	1	1	1	1	8	22,2%
TAMAÑO (T)	1	0	x	0	0	0	0	1	1	3	8,3%
MANTENIMIENTO (M)	0	0	0	x	1	0	0	0	0	1	2,8%
NIVEL DE RUIDO (NR)	0	0	0	1	x	0	0	0	0	1	2,8%
PESO (P)	0	0	1	0	1	x	0	0	0	2	5,6%
RECIRCULACIÓN Y REPARTO DE AIRE (RRA)	1	0	1	1	1	1	x	1	0	6	16,7%
VIDA ÚTIL (VU)	1	0	1	1	1	1	1	x	1	7	19,4%
COSTO (C)	1	0	1	1	1	1	1	0	X	6	16,7%
TOTAL										36	100,0%

Los resultados obtenidos de la matriz de enfrentamiento fueron los porcentajes a cada factor, cantidades que varían según la importancia. El puntaje que se le da a cada ventilador por factor pueden variar entre 0 a 10; y será multiplicado y la suma total de cada ventilador determinará la mejor opción para la propuesta.

Tabla 16. Método de factores ponderados para la selección del sistema de ventilación

FACTORES	PESO RELATIVO (%)	ALTERNATIVAS					
		DE LAVAL DF 500		JFD-N Aonoudi		MULTIFAN	
		Puntaje	P*%	Puntaje	P*%	Puntaje	P*%
Fácil instalación	5,6	7	0,39	8	0,45	8	0,45
Consumo de electricidad	22,2	8	1,78	10	2,22	6	1,33
Tamaño	8,3	7	0,58	9	0,75	8	0,66
Velocidad	2,8	8	0,22	7	0,20	5	0,14
Nivel de ruido	2,8	7	0,20	5	0,14	6	0,17
Peso	5,6	9	0,50	5	0,28	4	0,22
Recirculación y reparto de aire	16,7	7	1,17	9	1,50	9	1,50
Vida útil	19,4	7	1,36	8	1,55	5	0,97
Costo	16,7	8	1,34	7	1,17	6	1,00
TOTAL		7,54		8,26		6,44	

Con los resultados obtenidos, se determinó que el ventilador que plasma con lo que necesitan los establos ganaderos es el ventilador de escape para establos/pesebreras JFD-N Aonoudi; el cual cumple con los requisitos necesarios para dar un buen ambiente al ganado vacuno en época de verano, siendo un equipo de calidad superior y que se encuentra cumpliendo actualmente estándares de calidad y estándares industriales; habiendo obtenido un puntaje total de 8,26 a diferencia del ventilador marca De Laval DF 500 con 7,65 y del Multifan con una puntuación de 6,44.

3.3.2 Cálculo de energía (kW) para abastecer el sistema de ventilación

Para poder calcular el total de energía requerida, es necesario conocer la producción de biogás (m³) y energía eléctrica (kWh/día) procedente de la producción de estiércol generado por el ganado vacuno de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

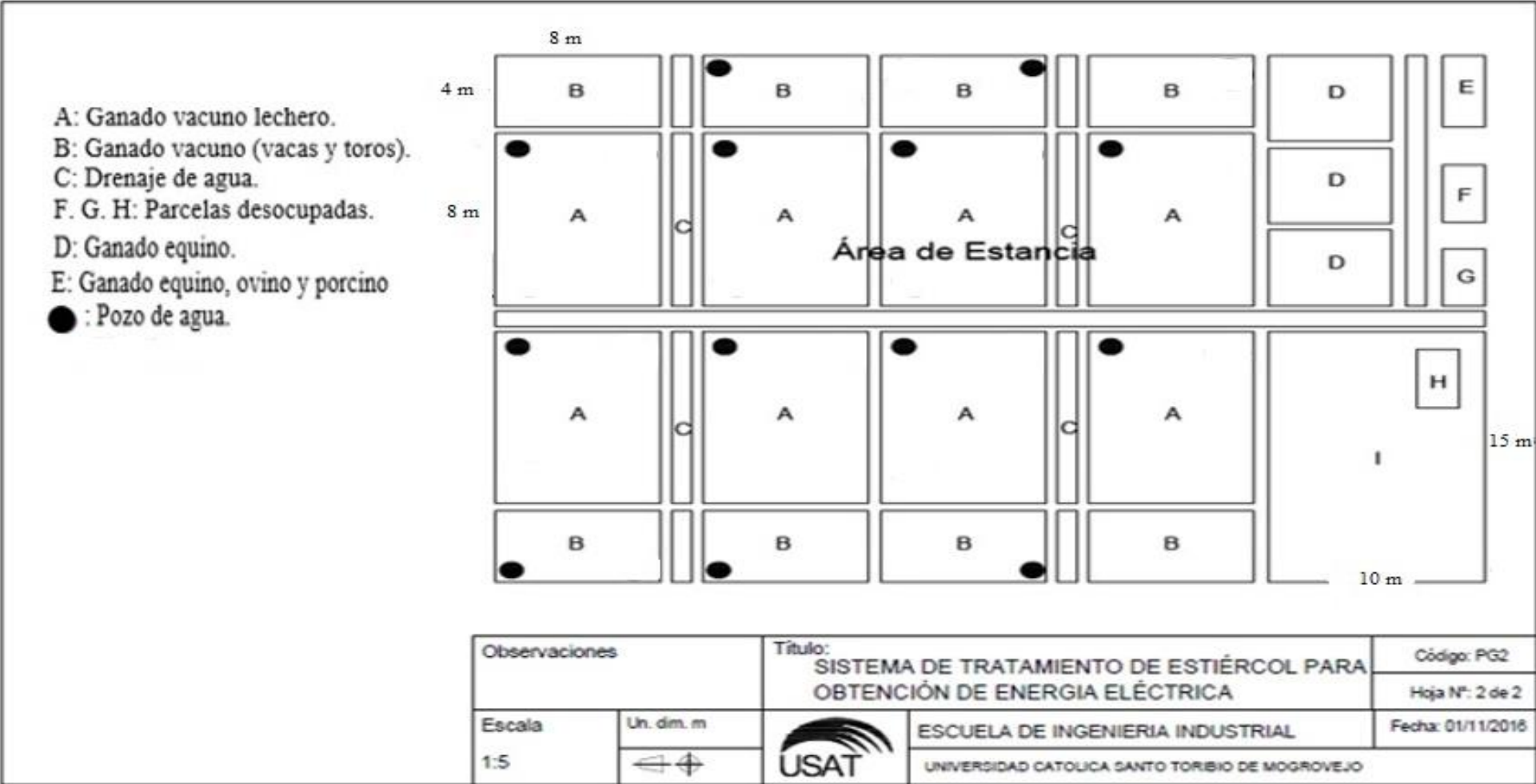
A. Capacidad de albergue del área de estancia del ganado vacuno

La asociación de Ganaderos de Lambayeque como se ha venido mencionando, cuenta en la actualidad con un total de 340 cabezas de ganado.

Como se observa en la leyenda de la Figura 14 las parcelas con la letra “A” albergan sólo vacas lecheras (con un total de 30 vacas por parcela), las parcelas con letra “B” las que albergan tanto vacas lecheras como toros para engorde con un total de 20 (contando en su interior con al menos 13 vacas).

Las parcelas con letra F, G y H; son parcelas aún vacías las cuales tienen la capacidad para albergar 32 cabezas de ganado más. Los ventiladores pueden estar ubicados en las paredes de los extremos, las paredes laterales o una combinación de las dos (*Czarick, 2011*).

A continuación se muestra el plano del área de estancia del ganado vacuno en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.



Plano A-01. Área de estancia del ganado en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

B. Cálculo del número de ventiladores

Para determinar la cantidad de ventiladores, se tomó como referencia el artículo titulado “*Estrés por calor: estrategias para mitigar sus efectos y mejorar la rentabilidad del establecimiento lechero*” (Bombal, 2017); el cual señalan la utilización de 15 ventiladores para un área de 300 m², durante 6 horas acumulativas para un total de 150 vacas. Lo que guarda relación con la distribución del ganado en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, ya que muestra que en 64 m² se alberga a 30 vacas y en 32 m² llegan a albergar hasta 20 cabezas de ganado entre vacas y toros.

Partiendo del número de ventiladores y del área total, se calcula la cantidad de ventiladores necesarios para este proyecto, teniendo en cuenta que las parcelas “A” tienen un área de 64 m² y las “B” cuentan con 32 m²; se realiza el cálculo.

- Número de ventiladores para parcelas “A”.

15 ventiladores → 300 m²
“x” ventiladores → 64 m²

Nº: 3 ventiladores.

- Número de ventiladores para parcelas “B”.

15 ventiladores → 300 m²
“x” ventiladores → 40 m²

Nº: 2 ventiladores.

Para hallar el número total de ventiladores, se cuantifican la cantidad de parcelas “A” y “B”, teniendo 8 de ambos.

“A”: $8 \cdot 3 = 24$ ventiladores
“B”: $8 \cdot 2 = 16$ ventiladores
Total: 40 ventiladores.

C. Cálculo de potencia requerida

El ventilador seleccionado posee una potencia de:

1 ventilador JFD-N → 370 Wh

Por lo tanto, 40 ventiladores requieren una potencia total de:

40 ventiladores JDF-N → 14 800Wh

El sistema de 40 ventiladores tendrá un funcionamiento de 6 horas acumulativas al día, por lo tanto se requerirá:

1 hora \rightarrow 14 800 W
6 horas \rightarrow 88 800W

Para el funcionamiento de 6 horas acumulativas de los 40 ventiladores se requieren 88,8 kWh/día.

Se conoce que la eficiencia del grupo electrógeno seleccionado es de una potencia útil de 62,6%; por lo tanto para obtener 88,8 kW se requiere de:
 $88,8 \text{ kW} / 62,6\% = 120,61 = 121 \text{ kW}$

D. CÁLCULO CON DQO

En la Asociación de Ganaderos de Lambayeque se cuenta con un promedio de 340 cabezas de ganado, los cuales producen 43 kg al día (Mago et al., 2014).

Dato a utilizar: $Densidad_{\text{estiércol vacuno}} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ o $0,997 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

$$\frac{11\,395 \text{ kg estiércol/día}}{0,997 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 11\,429,29 \text{ l/día}$$

$$DQO = 12\,290 \frac{\text{mg DQO}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} = 0,01229 \frac{\text{kg DQO}}{\text{l}}$$

$$11\,429,29 \text{ l/día} * 0,01229 \frac{\text{kg DQO}}{\text{l}} = 140,47 \text{ kg DQO/día}$$

Según Zahlten (2015), 1 kg de DQO produce 0,35 m³ de CH₄

$$\frac{0,35 \text{ m}^3 \text{CH}_4}{1 \text{ kg DQO}} * 140,47 \text{ kg DQO/día} = 49,16 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{día}$$

E. CÁLCULO CON PODER CALORÍFICO

Ahora, se trabaja con el Poder calorífico del metano a condiciones de presión y temperatura normales, siendo este de $9,97 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2011).

En 11 395 kg de estiércol hay = $49,16 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{día} * 9,97 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 490,16 \text{ kWh/día}$.

Por lo tanto, para obtener 121 kWh/día necesitaremos:

$$\frac{11\,395 \text{ kg estiércol} * 121 \text{ kWh/día}}{490,16 \text{ kWh/día}} = 2\,813 \text{ kg estiércol al día}$$

Para calcular el número de vacas que producirán 2 813 kg, tomaremos en cuenta que una vaca produce 43 kg.

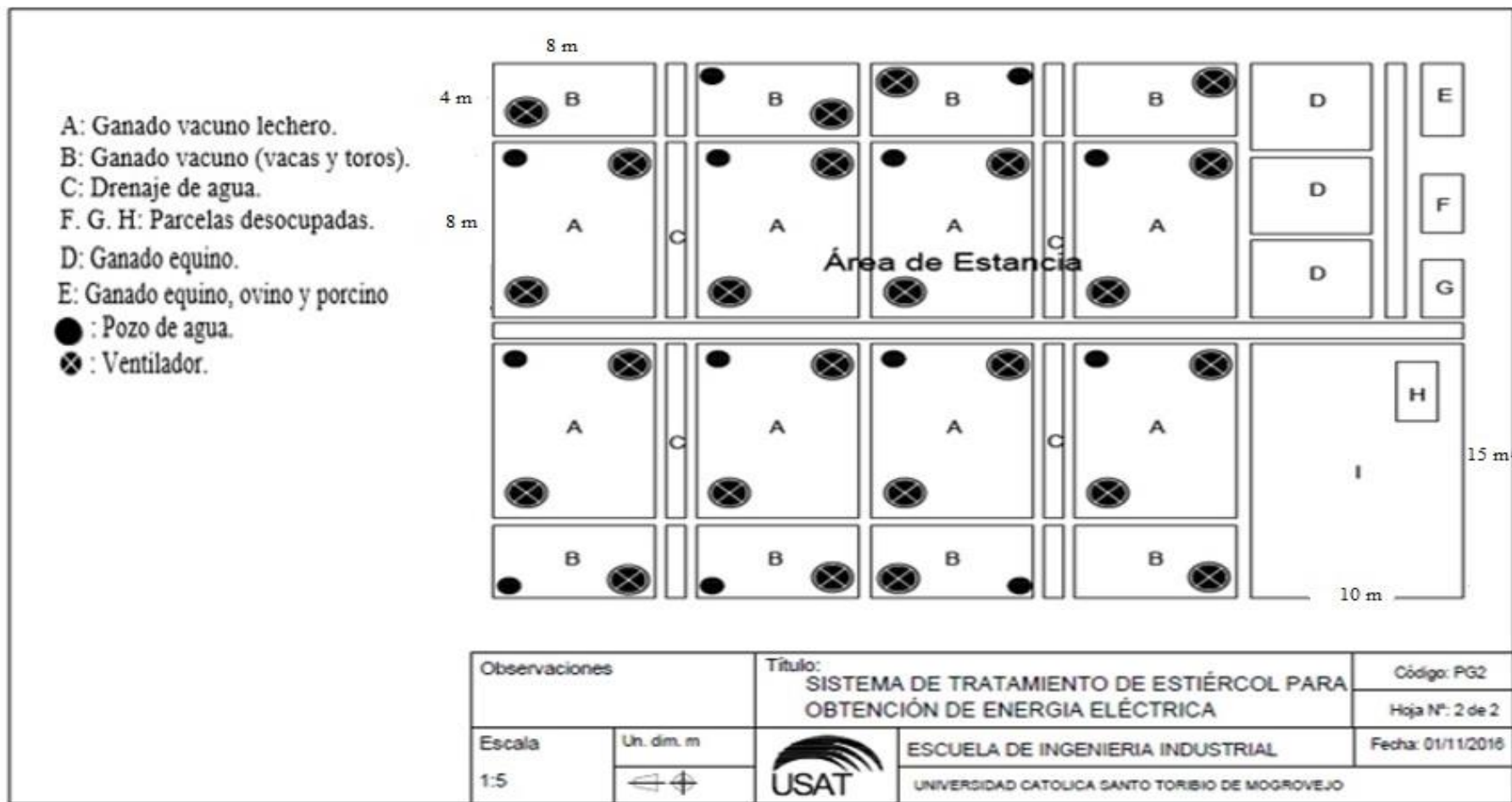
$$\frac{1 \text{ vaca} * 2\,813 \text{ kg estiércol}}{43 \text{ kg estiércol}} = 65,4 = 66 \text{ vacas}$$

Lo que representa el 30% del total del ganado vacuno.

Al implementar el sistema de ventilación se obtendrán rincones frescos, clima interior uniforme y reducción de moscas alrededor de las vacas. El ventilador proporcionará una ventilación óptima al proyectar 18 000 m³/h de aire sobre 146 metros, siendo su velocidad ajustable automáticamente para adecuarse a las variaciones de temperatura. El ventilador es fácil de uso y mantenimiento; funciona de forma tranquila para mantener a las vacas relajadas. Se instala fácilmente en el techo del establo, a una altura mínima de 2,7 metros con un ángulo de 10° a 12°, así se asegura una óptima ventilación en el lugar (*ATW Adversiting*).

Al necesitar 88,8 kW/día para abastecer a 40 ventiladores, sólo es necesario 2 813 kg diarios de estiércol para generar dicha energía; es decir, sólo es necesario la producción de estiércol de 66 vacas. Pero en este caso, la Asociación de ganaderos de Lambayeque cuenta con un promedio de 340 cabezas de ganado vacuno; así que el biogás que se genere adicionalmente puede generar luz eléctrica dentro del establecimiento de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque o ya sea para extender el tiempo de funcionamiento del sistema de ventilación.

Como se observa en el Plano A-02, existe un espacio libre de 150 m², en el cual será ubicado el sistema de tratamiento compuesto por un tanque de homogenización, desulfurador, dos biodigestores y el grupo electrógeno. La decisión de tomar esta parte del terreno es porque la ubicación física del sistema deberá tomar en consideración diversos factores, tales como el desnivel del terreno, distancias óptimas de la unidad al biodigestor, factores de seguridad lo que permitirá una adecuada operación del sistema (*Especificaciones técnicas Sistemas de biodigestión, 2010*).



PLANO A-02. Ubicación del sistema de ventilación en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOGÁS

Como en toda aplicación industrial es preciso realizar una adecuada selección de tecnología con base en el conocimiento de las bases del proceso. Se discute y analiza la influencia de las características de la alimentación, del tamaño y forma de las partículas sólidas, de los procesos de pretratamiento, con especial énfasis en las diferentes posibilidades de hidrólisis y se repasan las principales componentes tecnológicas: concentración de sustrato (vía seca o húmeda), temperatura (mesófilo o termófilo), forma de alimentar (continuo o discontinuo), separación de fases y modelo de flujo (mezcla completa o pistón) (Polanco y García, 2012).

Un sistema de tratamiento para obtener energía eléctrica consiste en cuatro principales componentes: tanque de homogenización, biodigestor, desulfurador y grupo electrógeno.

Al tanque se le agregará estiércol y agua de bebederos, los cuales serán mezclados para que sea almacenado en el biodigestor, el cual será purificado en el desulfurador para finalmente ser convertidos en energía eléctrica en el grupo electrógeno; cuya energía abastecerá el sistema de ventilación (Figura 14).

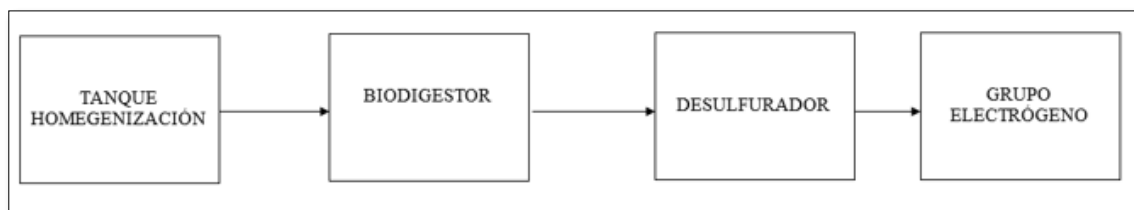


Figura 14. Componentes del sistema de tratamiento

Según Varnero (2011), los parámetros a tomar en cuenta para la instalación de un biodigestor son:

- La cantidad de biogás mensual necesaria para cumplir con los objetivos dados en este proyecto que es sistema de 24 ventiladores aproximadamente.
- La cantidad de estiércol de ganado vacuno requerido para la generación diaria de biogás. En la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, como mencionó anteriormente, existen más de 340 cabezas de ganado vacuno, cuya producción de estiércol se observó en la Tabla 8.
- Las dimensiones del digestor: son determinadas en base al tiempo de retención y la cantidad de estiércol suministrada al digestor.
- Cantidad del efluente removido cada día: que depende de la cantidad de estiércol introducido y de la cantidad de gas producido diariamente.
- Temperatura: La Asociación de Ganaderos de Lambayeque tiene la gran ventaja de encontrarse en una zona donde la temperatura promedio en verano fluctúan entre 20°C y 35°C, mientras que en invierno la temperatura mínima es de 15° y la máxima de 24°C.
- Tiempo de digestión anaerobia (TD): Para obtener una buena digestión anaeróbica, el tiempo de digestión debe ser de 30 días, como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Tiempo de digestión anaerobia

Materia Prima	Tiempo de digestión anaerobia (TD)
Estiércol vacuno líquido	20 -30 días
Estiércol porcino líquido	15 -25 días
Estiércol aviar líquido	20 -40 días

Fuente: Vázquez, Omar (2011).

3.4.1 Selección y diseño del biodigestor

A. Selección de biodigestor

Para la selección de biodigestor que se implementará en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, se optó por la realización del Método de factores ponderados en el cual se evaluó los biodigestores “bolsa flexible” o de Geo-membrana, “Hindú” y Domo fijo o “chino” (lo más comunes y cuya materia prima principalmente utilizada es el estiércol).

Los aspectos considerados en la matriz de selección fueron los propuestos por (*Monar, 2009*):

a. Tipo de materia Prima

Desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

b. Impacto ambiental

Se considera cuánto llega a disminuir la contaminación y si la construcción afecta o no al medio ambiente, si contribuye considerablemente la reducción de los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas, además de mantener un equilibrio ambiental y mejorar la estructura del suelo.

c. Vida útil

Se refiere al tiempo que durarán en funcionamiento los biodigestores.

d. Requerimientos de área

Hace referencia al área que se dispone para la construcción del biodigestores, ya que al ser una mayor área mucho mayor será el costo del terreno.

e. Costos

Factor muy importante en el diseño y construcción de un biodigestor, ya que aquí se tiene presente los costos de construcción, operación y mantenimiento.

f. Construcción

Disponibilidad de materiales para construcción del biodigestor.

g. Operación y mantenimiento

En este punto se hace referencia al funcionamiento y mantenimiento de los biodigestores para la producción del biogás.

h. Rendimiento

Eficiencia de productividad de los biodigestores una vez instalados.

En las tablas 18, 19 y 20 se muestran las características ambientales, económicas, sociales de los biodigestores.

Tabla 18. Características del biodigestor de geo-membrana

FACTORES	GEO-MEMBRANA	Fuente bibliográfica
Tipo de materia prima	Restos de alimentos, desechos de origen animal (estiércol, orinas, cama de ponedoras, residuos de mataderos), residuos de cosechas, cultivos energéticos utilizados para tal fin (sorgo, maíz), residuos agroindustriales (harinas, efluentes líquidos con una alta carga orgánica, bagazo de caña, vinaza, glicerina) entre otros.	<i>Huerga et al. (2014)</i>
Impacto ambiental	Es la mejor forma de reducir o eliminar la exposición de estiércoles y sus olores en los patios o corrales cerca de las viviendas, todo el gas emanado por estos residuos es capturado y ocupado para actividades domésticas.	<i>Machorro, Juan, y Méndez Edy (2011)</i>
Vida útil	Bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años.	<i>Fundación Hábitat Colombia (2005)</i>
Mantenimiento y operación	Bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC (cerco perimetral, techo protector)	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Requerimiento de área	Semi enterrado, alto Zanja de aprox. 2,5 m profundidad y 50 cm de largo por cada m ³ de biodigestor	
Construcción	Fabricadas de PVC con tapas en los dos extremos; además tubos necesarios para la carga del purín, otro para la salida del biol y un tercer tubo para extraer los lodos que sedimentan. Materiales de fácil acceso en el mercado.	<i>Geo-Soluciones (2016)</i>
Rendimiento	0,124 l/ biogás al día	<i>Aznar (2012)</i>
Costos de implementación	El costo del biodigestor de plástico es relativamente bajo y varía según el tamaño y situación.	<i>Geo-Soluciones (2016)</i>

Tabla 19. Características del biodigestor tipo hindú

FACTORES	HINDÚ	Fuente bibliográfica
Tipo de materia prima	Residuos con mucha fibra suelen causar problemas a la cúpula	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Impacto ambiental	Al ser excavación, tiende a destruir hábitat; pero reduce la contaminación al evitar la propagación de gases tóxicos, malos olores, entre otros.	<i>Huerga et al. (2014)</i>
Vida útil	Mayor a 15 años.	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Mantenimiento y operación	Altos niveles de mantenimiento a la cúpula flotante, eliminación de óxido, recubrimiento con anticorrosivos periódicamente	
Requerimiento de área	Bajo tierra. Requerimiento de espacio en la superficie es bajo, solamente cúpula flotante	
Construcción	Consiste en un tanque reactor vertical que tiene instalado una campana flotante recolectora de biogás, se usa refuerzos de hormigón. Cemento, ladrillo o bloque y cúpula flotante de acero anticorrosivo	
Rendimiento	Se alcanzan productividades volumétricas de 0,5 a 1 m ³ de biogás/volumen de reactor por día.	<i>Mora et al. (2012)</i>
Costos de implementación	Inversión muy alta (por campana flotante hecha de acero), con recuperación a mediano y largo plazo.	

Tabla 20. Características del biodigestor tipo chino

FACTORES	CHINO	Fuente bibliográfica
Tipo de materia prima	Los materiales más comúnmente utilizados para producir biogás son el estiércol de vaca, caballo, puerco y humano, sin embargo también se pueden otros materiales orgánicos.	<i>Cuchillo (2015)</i>
	Sin restricción	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Impacto ambiental	Como impacto ambiental destruye hábitat en la subtierra, disminuye el potencial contaminante de los excrementos.	<i>Cuchillo (2015)</i>
Vida útil	Mayor a 20 años.	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Mantenimiento y operación	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden.	
Requerimiento de área	Bajo tierra, requerimiento de espacio muy bajo, generalmente solo la línea de extracción de biogás	<i>Samayoa et al. (2012)</i>
Construcción	Cemento, ladrillo o bloque y varillas de hierro. Materiales de fácil acceso y fácil construcción.	
Rendimiento	Se obtienen productividades volumétrica de 0,15 a 0,2 m ³ de biogás/volumen de reactor por día.	<i>Fundación Hábitat Colombia (2005).</i>
Costos de implementación	Inversión alta, pero con recuperación a mediano y corto plazo.	

En el anexo 17 se muestra la matriz de enfrentamiento, herramienta que ayudó a calcular los porcentajes dados a los factores propuestos (técnicos, ambientales, sociales, económicos) para la determinación del biodigestor y en la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos del Método de factores ponderados.

Tabla 21. Método de factores ponderados para la selección del biodigestor

Factores		Peso relativo	ALTERNATIVAS					
			Geo-Membrana		Tipo Hindú		Tipo Chino	
			Puntaje	P*%	Puntaje	P*%	Puntaje	P*%
AMBIENTAL	Materia prima	6,90%	7	0,48	8	0,55	9	0,62
	Impacto ambiental	6,90%	9	0,62	7	0,48	7	0,48
TÉCNICO	Vida útil	17,24%	6	1,03	8	1,38	9	1,55
	Mantenimiento y operación	13,79%	8	1,11	9	1,24	9	1,24
	Requerimiento de área	3,45%	6	0,21	8	0,28	8	0,28
	Construcción	17,24%	9	1,55	7	1,21	8	1,38
	Rendimiento	13,79%	6	0,83	8	1,10	9	1,24
ECONÓMICO	Costos de implementación	20,70%	9	1,86	7	1,45	7	1,45
TOTAL			7,76		7,69		8,24	

El resultado de Método de Factores Ponderados, el cual se observa en la Tabla 21, dando como mejor alternativa el Biodigestor Tipo Chino (Ver figura 15). Este biodigestor según la información obtenida en la investigación y lo desarrollado cumple con todos los factores para su instalación en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

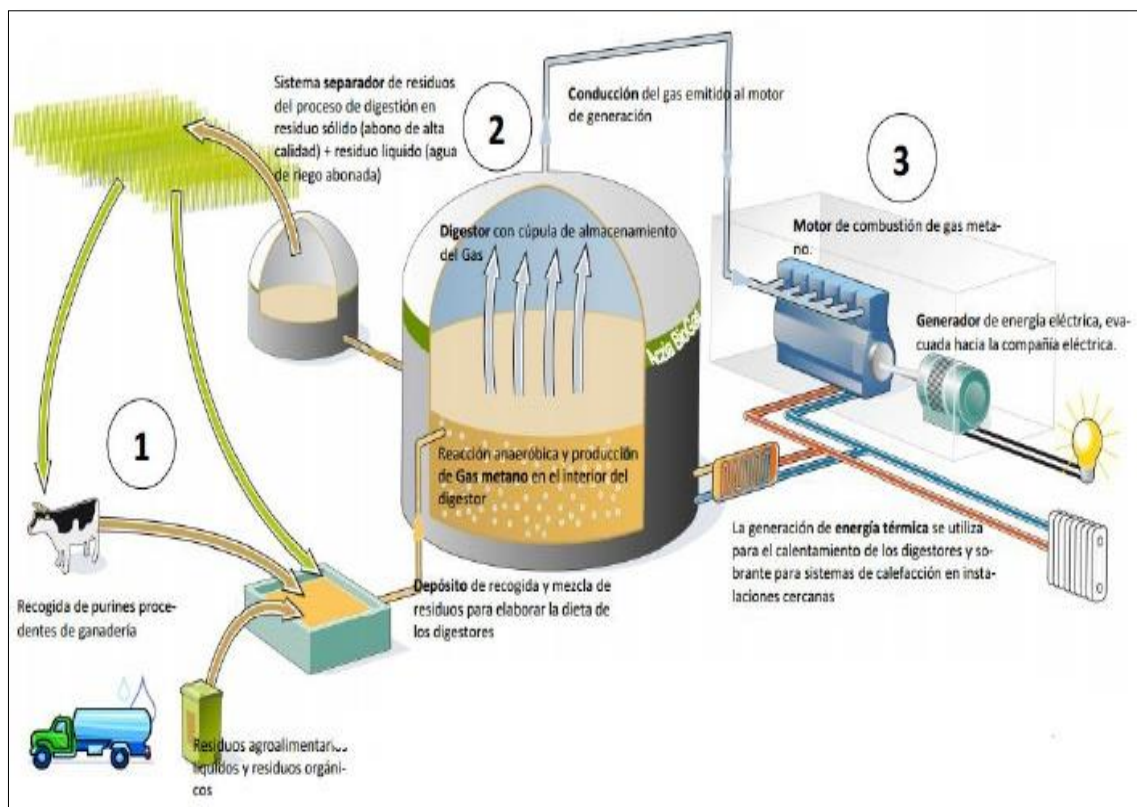


Figura 15. Funcionamiento de un biodigestor de domo fijo o tipo chino

Fuente: Martí (2006).

B. Diseño del biodigestor

Para realizar el diseño del biodigestor, es importante conocer parámetros como:

✓ Descripción del lugar

La Asociación de Ganaderos de Lambayeque, como se mencionó anteriormente, se encuentra ubicada en Carretera Chiclayo - Pomalca km 2,5 (Figura 16). Se encuentra a una altitud aproximada de 500 metros sobre el nivel del mar, su clima se considera caluroso, húmedo y lluvioso.

La temperatura en verano fluctúa entre 20°C y 35°C (ver anexo 24), en invierno la temperatura mínima es de 15°C y máxima de 24°C. Por lo general a medida que se aleja de la orilla del mar avanzando hacia el este, la temperatura se va elevando sintiéndose principalmente a medio día un calor sofocante.

La Asociación de Ganaderos de Lambayeque se dedica a la crianza de ganado vacuno, bovino y otros. Cuenta con aproximadamente 340 cabezas de ganado siendo la mayor parte vacas lecheras, las cuales se les ordeña dos veces al día. La primera ordeña se realiza a las 6 de la mañana y la segunda a las 3 de la tarde. El ordeño se da en la misma parcela donde habitan los animales.

Área total de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque: 1,5 ha.
Número promedio de cabezas de ganado: 340 cabezas de ganado.



Figura 16. Localización geográfica de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque
Fuente: Google Maps.

✓ **Estiércol disponible**

La materia prima para la producción de biogás es el estiércol fresco. Se pueden considerar otro tipo de residuos orgánicos, pero en ningún caso residuos duros (con cáscara dura) o de larga duración de descomposición (como vísceras).

El estiércol que mayor cantidad de biogás produce es el de puerco y el de humano, pero el fertilizante que producen es muy ácido. El estiércol más equilibrado es el de vaca, además que por animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es el más fácil de recoger.

Se recomienda usar el estiércol necesario para la producción de biogás requerida, y dejar el sobrante para los usos tradicionales de abonado de los cultivos (*Martí, 2008*).

Es indispensable, para no alterar la producción y composición del gas, alimentar el biodigestor diariamente (de preferencia a la misma hora) y con la mezcla recomendada.

✓ **Mezcla estiércol-agua y carga diaria**

Todos los días hay que cargar el biodigestor con una carga de estiércol mezclada con agua. De esta manera, una parte es de estiércol y la otra de agua. A esto se le llama mezcla de carga diaria.

En biodigestores tipo chino la mezcla se realiza 1:1, pero el biodigestores tubulares conviene diluir mucho más el estiércol de manera que no se formen “natas” en la superficie. Además, una buena dilución de la mezcla asegura que el biodigestor realmente sea de flujo continuo, evitando que se atasque por exceso de materia sólida en su interior (Martí, 2008).

✓ Temperatura y tiempo de retención

Para fines prácticos, con los que además se obtiene buenos resultados, se considera la propuesta hecha por Martí (2008), en donde relaciona el tiempo de retención con la temperatura del lugar en cuestión, obtenido en base a experiencia en este ramo, esta relación es la que se aprecia en la tabla 22.

Tabla 22. Tiempo de retención en relación a la temperatura

Temperatura (°C)	Tiempo de retención (Días)
30	15
20	25
10	60

Fuente: Martí (2008).

Tomando como referencia los datos de la tabla N°22 y la temperatura del Departamento de Lambayeque (Ver anexo 24), el tiempo de retención para esta temperatura es de 17 días (Ver anexo 25).

B.1 Cálculos para carga diaria y volumen de tanque de homogenización

Según Gordón y Samaniego (2014), los cálculos para el diseño del biodigestor tipo chino son:

✓ Carga diaria (CD).

Para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias es necesario que esté en el interior del biodigestor tanto tiempo como el tiempo de retención estimado, según la temperatura del lugar.

La carga diaria o el volumen líquido de un biodigestor se expresa a partir de la ecuación siguiente:

$$CD = \text{Total de estiércol (kg/día)} + \text{Total de agua (l/día)}$$

$$Cd = 3\,302 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ l}}{1 \text{ kg}} + 3\,302 \text{ litros} = 6\,604 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 6,604 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Considerando la gran cantidad de volumen y para evitar la escala tan grande del biodigestor, si se decidiera por construir uno sólo, se optó por la realización de dos biodigestores tipo chino. Cada biodigestor tendrá una carga diaria de 3 302 m³; y en base a esa cantidad de carga se realizarán los siguientes cálculos.

✓ Volumen del tanque del biodigestor (V_b)

Para un biodigestor tipo chino, el volumen del tanque (V_b) será el resultado de multiplicar el tiempo de retención (T_r) por la carga diaria (C_d). De esta manera, si se imagina el biodigestor vacío inicialmente y se comienza a cargarlo de forma diaria, tardará tantos días como tiempo de retención se hayan considerado en llenarse.

El cálculo del tiempo de retención se desarrolló en base a los datos expuestos por *Martí (2008)*, los datos se pueden observar en la tabla 22, y las temperaturas alcanzan los 30° y hasta más, por lo que los días de tiempos de retención serán de 15.

Y así, tiempo de retención +1 día, al cargar el biodigestor, se desbordará expulsando la carga del primer día ya digerida (por el equilibrio hidráulico bajo el que funciona).

$$V_b = C_d * T_r$$

Donde:

C_d : volumen de la carga diaria ($m^3/día$).

T_r : tiempo de retención de la mezcla en el reactor (días).

$$V_b = 3\,302 \frac{m^3}{día} * 17 \text{ días} = 56,13 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque del biodigestor es de $56,13 \text{ m}^3$, lo que permitirá almacenar toda la carga diaria durante los 17 días.

B.2 Cálculo de las dimensiones del biodigestor

A. Dimensionado del biodigestor (\emptyset)

Una vez conocido el volumen del biodigestor hay que determinar las dimensiones del mismo. Es necesario determinar la longitud y el radio del biodigestor, para luego con estos valores, estimar la longitud necesaria para alcanzar el volumen total deseado.

Para determinar el diámetro del biodigestor se consideró una profundidad igual al diámetro. Basándose en el principio utilizado en la Tesis “*Diseño de un Biorreactor y Conducción del Biogás Generado por las Excretas de Ganado Vacuno, Estación Tunshi-Espoch*”, propuesto por el *Ing. Edwin Toala (2013)*, De la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias.

$$H_b = \emptyset$$

Como ya se tiene el volumen del tanque cilíndrico del biodigestor, se empleó la fórmula de cálculo de volumen de un cilindro.

$$Vt = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * Hb$$

Despejando y reemplazando Hb por \emptyset

Donde:

Vb = Volumen tanque del biodigestor.

\emptyset = Diámetro del biodigestor.

Hb = Altura del biodigestor.

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{Vb * 4}{\pi}}$$

Reemplazando valores:

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{56,13 \text{ m}^3 * 4}{\pi}} = 4,15 \text{ m}$$

B. Altura, cámara de digestión (Hb)

Para determinar la altura del pozo se calculó tomando en cuenta los datos obtenidos anteriormente (diámetro y volumen del tanque) y aplicando la siguiente fórmula se obtuvo el valor de la altura.

Fórmula aplicada:

$$Vb = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * Hb$$

Despejando Hb:

$$Hb = \frac{Vb * 4}{\pi * \emptyset^2}$$

Reemplazando valores:

$$Hb = \frac{56,13 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (4,15 \text{ m})^2} = 4,15 \text{ m}$$

Donde:

V_b = Volumen tanque del biodigestor.

\emptyset = Diámetro del biodigestor.

H_b = Altura, cámara de biodigestión.

La altura de la cámara de biodigestión es de 4,15 m; a ello se le suma 15 cm de base, por lo que H_{b1} será de 4,30 m.

C. Altura de la cúpula (hc)

Para determinar la altura de la cúpula se utilizó la fórmula que a continuación se la describe, tomando en consideración el diámetro del tanque.

$$hc = \frac{1}{5} \emptyset$$

Reemplazando valores:

$$hc = \frac{1}{5} * (4,15 \text{ m}) = 0,83 \text{ m}$$

La altura de la cúpula será de 0,83 m de altura.

D. Radio de la curvatura de la cúpula (Rc)

Se empleó la siguiente fórmula matemática.

$$Rc = \frac{(Rb)^2 + (hc)^2}{2 * (hc)}$$

Donde:

R_b = Radio del biodigestor.

hc = Altura de la cúpula.

Remplazando valores:

$$Rc = \frac{\left(\frac{4,15 \text{ m}}{2}\right)^2 + (0,83 \text{ m})^2}{2 * 0,83 \text{ m}} = 3 \text{ m}$$

E. Volumen de la cúpula (V_c)

Uno de los factores importantes a considerar es el volumen de la cúpula, lo que permite saber la cantidad de biogás que se puede almacenar, y con ello determinar si se debe construir un tanque de almacenamiento adicional.

$$V_c = \pi * (hc)^2 * \left(Rc - \frac{hc}{a}\right)$$

Donde:

$a = 3$ (valor constante).

V_c = Volumen de la cúpula.

Rc = Radio de curvatura.

hc = Altura de curvatura.

Reemplazando valores:

$$V_c = \pi * (0,83 \text{ m})^2 * \left(3 \text{ m} - \frac{0,83 \text{ m}}{3}\right) = 5,89 \text{ m}^3$$

La cúpula tendrá la capacidad de almacenar $5,89 \text{ m}^3$ de biogás.

F. Sobredimensionamiento para almacenamiento de biogás (Sab)

Para una mayor capacidad de almacenamiento se sobredimensiono el biodigestor en 10% con respecto a su altura de la cámara de digestión (4,96 m).

$$\begin{aligned} Sab &= Hb * 10\% \\ Sab &= 4,15 \text{ m} * 10\% = 0,415 \text{ m} \end{aligned}$$

El sobredimensionamiento es de 0,415 m.

G. Volumen del sobredimensionado (V_s)

Se obtiene a partir de:

$$\begin{aligned} V_s &= \pi * r^2 * Sab \\ V_s &= \pi * \left(\frac{3 \text{ m}}{2}\right)^2 * 0,415 \text{ m} = 2,93 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El Sobredimensionamiento que se le dará al biodigestor tendrá la capacidad de almacenar $2,93 \text{ m}^3$ de biogás.

H. Volumen total del biodigestor (V_t)

El volumen total es la sumatoria de la capacidad o volumen de la cúpula, más el volumen del cilindro o cámara de biodigestión, más el sobredimensionamiento.

$$\begin{aligned}V_t &= V_c + V_b + V_s \\V_t &= 5,89 \text{ m}^3 + 56,13 \text{ m}^3 + 2,93 \text{ m}^3 \\V_t &= 64,95 \text{ m}^3\end{aligned}$$

El volumen total de un biodigestor es de $66,82 \text{ m}^3$.

I. Altura total del biodigestor (A_{tb})

Para obtener la altura total del biodigestor se sumó $H_{b1} + H_c + S_{ab}$.

$$\begin{aligned}A_{tb} &= 4,30 \text{ m} + 0,83 \text{ m} + 0,415 \text{ m} \\A_{tb} &= 5,55 \text{ m}\end{aligned}$$

La altura total de biodigestor será de $5,5 \text{ m}$.

Para las siguientes medidas se tomarán del total de la carga diaria, ya que tanto como caja de entrada como de salida tendrán la capacidad de almacenar toda la carga.

J. Cálculo de la caja de entrada

Para determinar las dimensiones de la caja de entrada, se tomó en cuenta el volumen de carga diaria pero dividido entre 8, ya que la Asociación de Ganaderos de Lambayeque está abierto desde las 6:00 a.m. hasta las 8 p.m.; y desde todo ese horario se recogerá 8 veces el estiércol para luego ser mezclado e ingresado al biodigestor, se consideró una caja cuadrada, por lo que su base, ancho y profundidad serán de las mismas medidas.

Es decir:

$$L_1 = L_2 = L_3 = L^3$$

Se empleó la siguiente fórmula matemática:

$$\begin{aligned}CD &= V_{ce} \\V_{ce} &= L_1 + L_2 + L_3 \\V_{ce} &= L^3\end{aligned}$$

Despejando y reemplazando valores:

$$L = \sqrt[3]{V_{ce}} = \sqrt[3]{\frac{6,604}{10} \text{ m}^3} = 0,87 \text{ m}$$

De acuerdo al cálculo realizado la medida de cada lado de la caja de entrada será de 0,87 m.

Para una mayor facilidad de mezcla (estiércol + agua) en la caja de entrada se la sobredimensionó en un 40% más en su capacidad de volumen, esto también evitará que la mezcla se derrame por los costados.

Por lo que sus dimensiones finales serán:

$$V_{cef} = V_{ce} * 40\%$$

$$V_{cef} = 0,87 \text{ m}^3 + 40\%$$

$$V_{cef} = 1,22 \text{ m}^3$$

$$L = \sqrt[3]{1,22 \text{ m}^3} = 1,07 \text{ m}$$

Las medidas finales de cada lado de la caja de entrada ya sobredimensionada serán de 1,07 m; con lo que tendrá una capacidad o volumen de 1,22 m³/hora.

K. Cámara de salida

La cámara de salida para el biol, se realizó considerando, también, el lugar por donde se realizará el mantenimiento de la parte interna del biodigestor.

Su construcción cuenta de un túnel que va desde la cámara de biodigestión hasta la caja de salida.

Para obtener sus dimensiones no se utilizaron únicamente fórmulas matemáticas, sino se tomaron en cuenta criterios como:

- ✓ Facilidad de ingreso del personal encargado del mantenimiento cada vez que el Biodigestor lo requiera.
- ✓ El área de salida del biol no debe ser excesivamente grande, porque se corre el riesgo de que la materia prima que se carga diariamente se almacene en la cámara de salida y emita malos olores al ser un área no hermética.
- ✓ Que la caja de salida tenga un volumen de almacenamiento de 6 días, debido a que en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque la utilización del biol no se lo utilizará diariamente.

L. Dimensiones del túnel que une la cámara de biodigestión con la caja de salida

Altura: 0,55 m

Ancho: 0,55 m

Largo: 0,80 m

Este dimensionamiento permite que una persona de contextura delgada, ingrese con facilidad para realizar los trabajos de mantenimientos cada vez que el Biodigestor los requiera.

M. Tubería empleada para la conducción de la materia prima al interior del Biodigestor

La tubería empleada para conducir la mezcla de estiércol con agua, desde la caja de entrada hacia el interior del Biodigestor es de PVC de 8 pulgadas (20,32 cm), el diámetro de esta tubería debe ser lo suficiente grande para evitar taponamiento al momento de la alimentación.

N. Tubería que conducirá el biogás desde el interior del biodigestor hacia fuera

El biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, además contiene una pequeña cantidad de ácido sulfhídrico.

Por ello se debe instalar tuberías anticorrosivas para evitar daños, por lo tanto para la salida del biogás producido en la cámara de biodigestión, se instalará un tubo de PVC de 2 pulgadas en la parte superior de la cúpula y se adaptó una llave de paso, con lo que se facilitará el control de la salida del biogás.

A continuación en la Tabla 23, se muestra el resumen de todas las medidas calculadas.

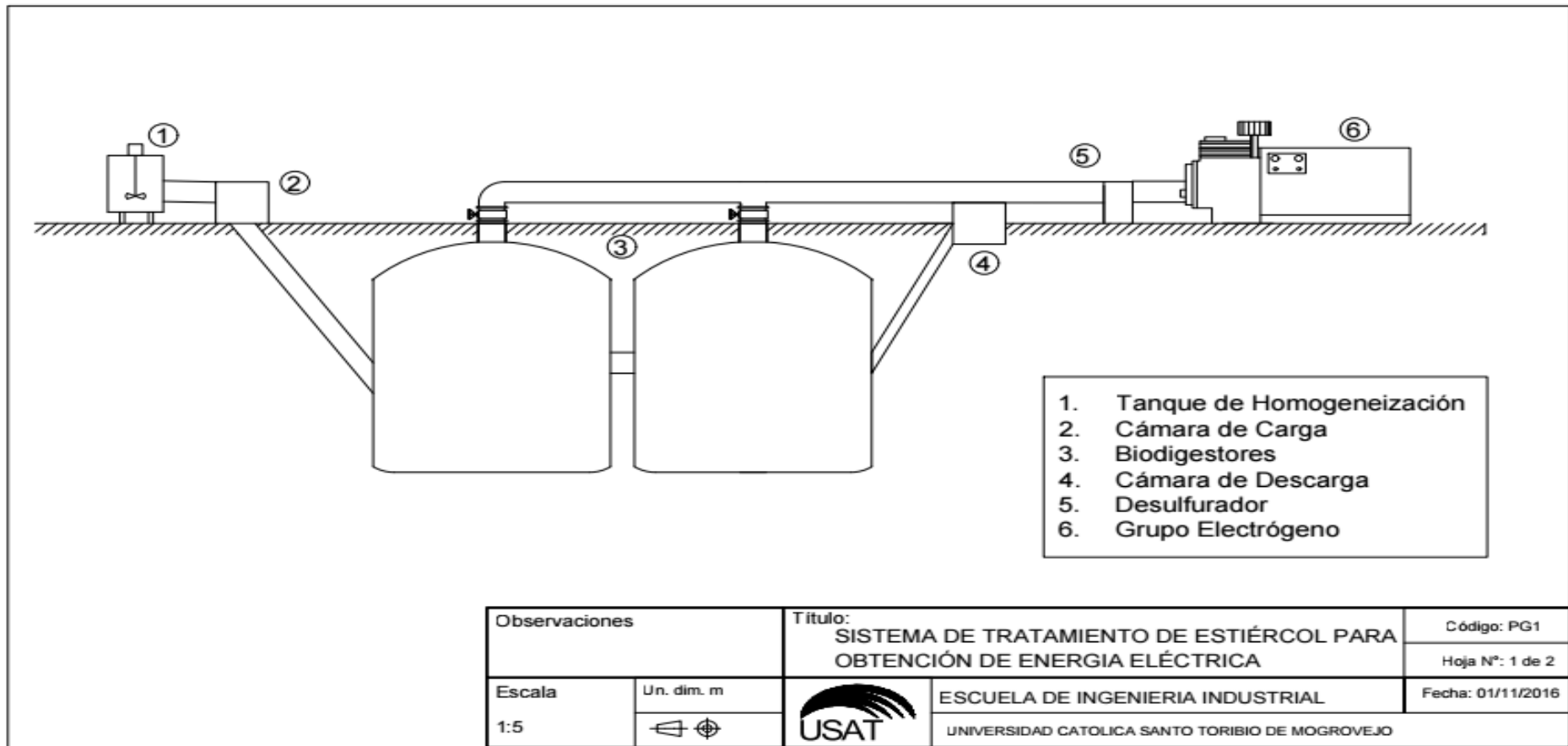
Tabla 23. Dimensionamiento del biodigestor

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen del tanque del biodigestor	Vb	56,13	m ³
Diámetro del biodigestor	\emptyset	4,15	m
Altura, cámara de digestión	Hb	4,155	m
Altura de la cúpula	Hc	0,83	m
Radio de la curvatura de la cúpula	Rc	3	m
Volumen de la cúpula	Vc	5,89	m ³
Volumen total del biodigestor	Vt	64,95	m ³
Altura total del biodigestor	Atb	5,55	m

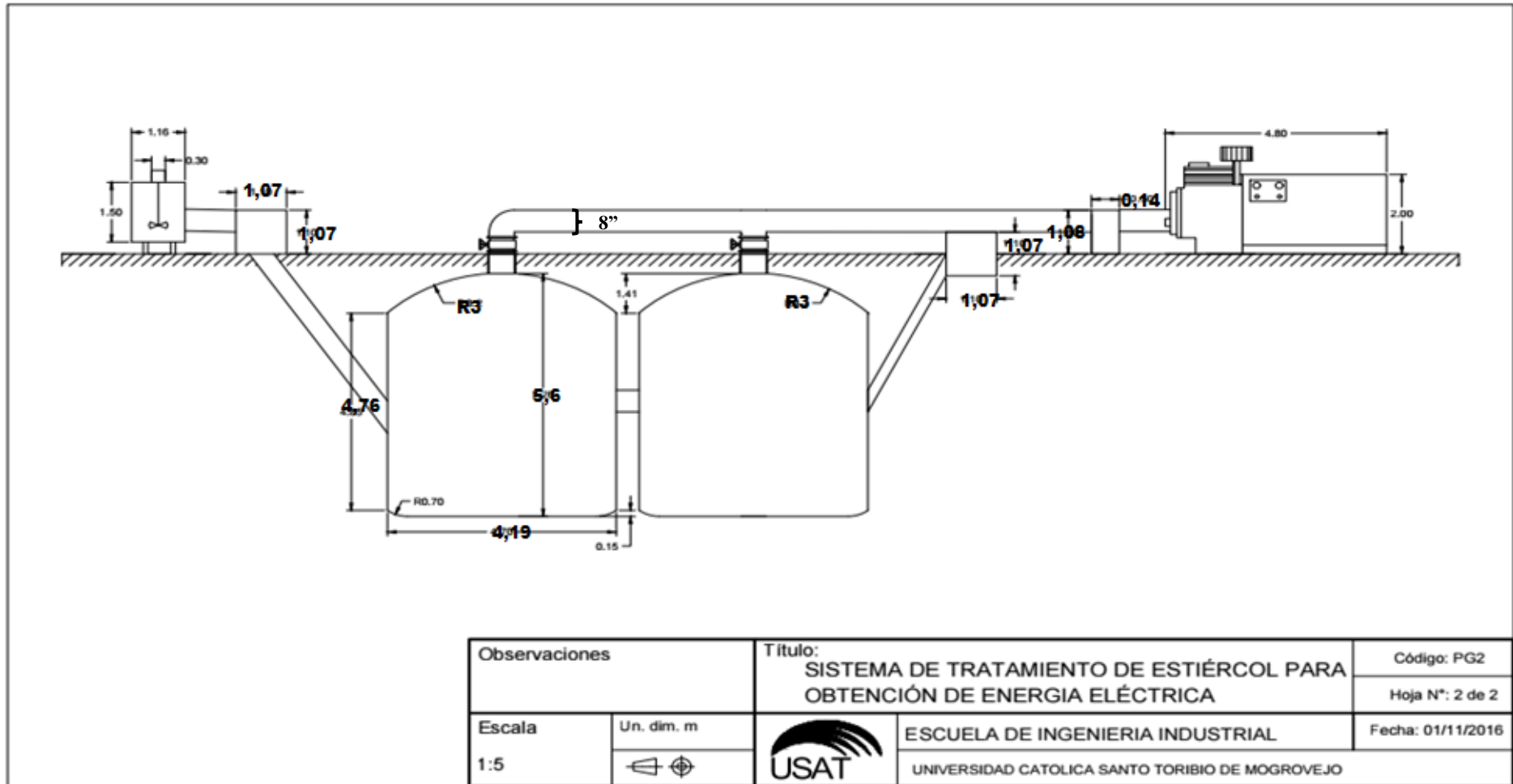
Tabla 24. Dimensiones del sistema de tratamiento completo

Tecnología	Medidas básicas
Tanque de homogenización	Largo: 1,5 m Ancho: 1,6 m Altura: 1,5 m
Caja de entrada	Largo: 1,07 m Ancho: 1,07 m Altura subterránea: 1,07 m
Superficie del biodigestor	Largo: 0,5 m Ancho: 0,5 m Altura: 0,5 m
Caja salida del efluente	Largo: 1,07 m Ancho: 1,07 m Altura subterránea: 1,07 m
Desulfurador	Diámetro: 0,14 m Altura: 1,08 m
Grupo electrógeno	Ancho: 1,329 m Altura: 1,729 m Longitud: 3,2 m

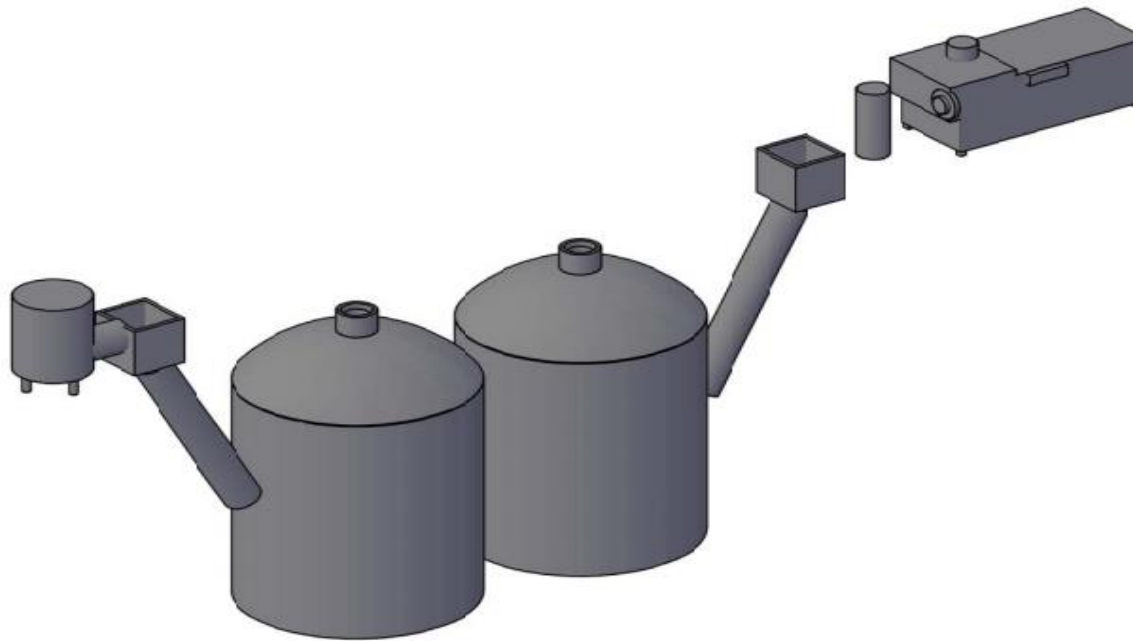
A continuación, en el Plano A-03, se muestra el diseño de ingeniería del sistema de tratamiento completo.



PLANO A-03. Diseño de ingeniería del sistema de tratamiento completo



PLANO A-04. Diseño de ingeniería acotado del sistema de tratamiento (en metros)



Observaciones		Título: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA		Código: BG3D
				Hoja N°: 1 de 1
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 01/11/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

PLANO A-05. Diseño en 3D del sistema de tratamiento

3.4.2 Diseño del desulfurador

Según *Chávez (2008)*, el análisis en el desulfurador es mucho más simple, puesto que únicamente se resta la cantidad que ingresa de biogás menos la cantidad de H₂S que queda retenido en el desulfurador, por ejemplo: la cantidad entrante de biogás a un desulfurador es de 24,14 m³ menos la cantidad del ácido 0,60 m³, entonces la cantidad de biogás limpio es de 23,67 m³ de biogás que sale de un desulfurador.

A. Capacidad de eliminación de la columna

En diversos experimentos a escala industrial se observa que la capacidad de la columna es en promedio 0,35 kg S por cada kilogramo de hierro siendo la duración de las columnas de dos meses, para tiempo de contacto de 68 minutos (*Montalvo y Guerrero 2003*).

Por lo tanto, para hallar la cantidad en kilogramos de H₂S se utilizó la fórmula de los gases ideales (Ver Anexo 22), dando como resultado la presencia de 0,47 kg de H₂S.

El biodigestor contendrá una cantidad de 0,46 kg de H₂S al día o 0,046 kg de H₂S/hora, o según la composición química del H₂S, mismo 0,704 kg S/d, entonces:

Por lo tanto la capacidad de eliminación de la columna está dada por:

$$\text{Cantidad de Fe necesario para eliminar } 0,704 \text{ kg de S} = \frac{0,433 \text{ kg S}}{0,35 \text{ kg S}} = 1,24 \text{ kg de Fe}$$

Entonces se divide el resultado por el valor de la densidad de Fe, el cual es 7,86 mg/l o 7 860 kg/m³ (*Lenntech BV, 2014*), y como la capacidad de las columnas es de dos meses, multiplicamos el volumen por 60, obteniendo un resultado de 0,01 m³ Fe (*Agapito, 2007*).

Con datos obtenidos, se procede a restar el biogás total menos la cantidad removida de H₂S, que suponemos se remueve el 100%.

B. Volumen total de la columna

La columna debe estar rellena con Hierro y aserrín en proporción de 60 a 40 %, respectivamente (*Montalvo y Guerrero 2003*).

El valor obtenido de 0,01 m³ representa el 60% de la columna, el 40 % será de 0,006 m³ de aserrín. El volumen total viene dado por la suma de los dos volúmenes: 0,016 m³.

C. Área transversal de la columna

La torre puede tener sección rectangular o circular, la haremos circular para evitar los espacios muertos.

El área transversal de la torre (AT) puede hallarse en función de Q_g (caudal volumétrico del biogás, igual a $2,41 \text{ m}^3/\text{hora}$ o $0,00067 \text{ m}^3/\text{s}$) y de la velocidad del biogás a través de la torre (V_g), la cual debe ser menor a 5 cm/s , de acuerdo con *Montalvo y Guerrero (2003)*.

$$AT = Q_g/V_g$$

$$AT = 0,001072 \text{ m}^3/\text{s} / 0,045 \text{ m/s}$$

$$AT = 0,01 \text{ m}^2$$

$$D = 0,14 \text{ m}$$

D. Altura de la columna

La altura de la columna viene dada por:

$$hT = VT/AT$$

$$hT = 0,016 / 0,02 \text{ m}^2$$

$$hT = 1,05 \text{ m}$$

E. Cálculo con DQO

Como se observó en el anexo 19, se necesitará $3\,402 \text{ kg}$ de estiércol para obtener $146,34 \text{ kWh/día}$.

$$\frac{3\,302 \text{ kg estiércol/día}}{0,997 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 3\,311,94 \text{ litros/día}$$

$$0,01229 \frac{\text{kg DQO}}{\text{l}} * 3\,311,94 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 40,70 \text{ kg de DQO/día}$$

$$\frac{40,70 \text{ kg DQO/día} * 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{1 \text{ kg DQO}} = 14,25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{día}$$

$$\text{Volumen total de biogás} = \frac{14,25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 * 100\%}{60,8\%} = 23,43 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

$$\text{CH}_4 (60,8\%) = 14,25 \text{ m}^3$$

$$\text{CO}_2 (30,75\%) = 7,20 \text{ m}^3$$

$$\text{N}_2 (5,3\%) = 1,24 \text{ m}^3$$

$$\text{O}_2 (1,22\%) = 0,29 \text{ m}^3$$

$$\text{H}_2\text{S} (1,96\%) = 0,46 \text{ m}^3$$

Al valor total del biogás se le resta la cantidad de H_2S ya que este será eliminado en el desulfurador, quedando $23,43 \text{ m}^3 - 0,46 \text{ m}^3 = 22,97 \text{ m}^3$.

Este nuevo valor de biogás contiene las siguientes proporciones:

$$\text{CH}_4 (62\%) = 14,24 \text{ m}^3$$

$$\text{CO}_2 (31,35\%) = 7,20 \text{ m}^3$$

$$\text{N}_2 (5,4\%) = 1,24 \text{ m}^3$$

$$\text{O}_2 (1,24\%) = 0,28 \text{ m}^3$$

El valor del metano se multiplica por el poder calorífico del mismo componente, el cual, según *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2011)*, es de $9,97 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$.

$$14,24 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 * 9,97 \text{ kWh/m}^3 = 141,97 \text{ kWh/día}$$

Tabla 25. Volumen y masa de componentes del biogás

Componente	Volumen (m ³)	Masa (kg)
Metano CH ₄	14,25	9,33
Dióxido de Carbono CO ₂	7,20	12,96
Nitrógeno N ₂	1,24	1,42
Oxígeno O ₂	0,29	0,38
Sulfuro de hidrógeno H ₂ S	0,46	0,34

3.4.3 Selección del grupo electrógeno

El biogás es utilizado como combustible en el grupo electrógeno. El biogás entrante es aquel que proviene del desulfurador, siendo la cantidad que ingresa $22,97 \text{ m}^3$ de biogás limpio.

El equipo tiene una eficiencia del 62,6 % (*Ficha técnica Caterpillar G3306-Anexo 19*), por lo tanto la potencia útil es de 88,9 kWh al día, lo que demuestra que la energía generada abastecerá todo el sistema por el tiempo determinado de 10 horas al día.

La energía serviría para abastecer los 24 ventiladores en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque en el área de estancia del ganado vacuno, únicamente en los meses de verano los cuales registran altas temperaturas.

Al igual que en biodigestores y ventiladores, aquí también se aplicó la matriz de enfrentamiento para, posteriormente, desarrollar el método de Factores Ponderados.

Los criterios que se tomaron en cuenta fueron principalmente la potencia eléctrica de los grupos electrógenos, ya que para el sistema de ventilación se requiere una potencia de 88,8 kW, entonces los grupos electrógenos fueron seleccionados teniendo como base una potencia de al menos 100 kW (Ver matriz de enfrentamiento para la selección del generador en el anexo 18).

Para darle un valor a cada factor para la elección de generador se verificaron las fichas técnicas de cada uno de los generadores elegidos (Ver Anexos 19, 20 y 21).

En la tabla 26 de muestran los criterios que se tomaron para la selección del grupo electrógeno.

Tabla 26. Criterios para selección del grupo electrógeno

FACTORES	CATERPILLAR G3306	CATERPILLAR G3508	MITSUBISHI G S6R2-PTK
Precio	\$ 15 000	\$ 10 000	\$ 12 120
Accesibilidad de repuestos	En el mercado peruano, hoy por hoy, existe una gran diversidad para los diferentes grupos electrógenos. Algunos de fácil acceso en el país, y otros a pedido.		
Mantenimiento	En Perú existen profesionales capaces de dar uso y mantenimiento a grupos electrógenos.		
Vida útil	Depende del correcto u oportuno mantenimiento que se le dé.		
Potencia (kW)	143 kW	485 kW	305 kW
Fuente bibliográfica (fichas técnicas)	Caterpillar. 2018. Generadores para la industria agrícola.		Rivera diesel S.A. 2015. Grupos electrógeno Diesel-Mitsubishi.

Tabla 27. Método de Factores ponderados para la selección del generador de energía

FACTORES	PESO RELATIVO (%)	ALTERNATIVAS		
		MARCAS		
		MITSUBISHI G S6R2-PTK	CATERPILLAR G3508	CATERPILLAR G3306
Precio	11,1%	5	7	6
Accesibilidad de repuestos	11,1%	8	6	8
Fácil mantenimiento	33,3%	8	9	9
Vida útil	22,2%	8	9	9
POTENCIA (kW)	22,2%	8	5	10
TOTAL		7,656	7,55	8,77

En la tabla 27 se observa el desarrollo del método de factores ponderados, el cual indica que el grupo electrógeno que cumple con las necesidades presentadas fue el modelo CATERPILLAR G3508.

Según *Mobrotto (2018)*, el grupo electrógeno antes de su instalación debe cumplir con ciertas pautas básicas de instalación:

- ✓ La cimentación es la base de hormigón armado sobre la cual se apoya y ancla el grupo electrógeno, debe soportar como mínimo una vez y media el peso del generador, incluyendo líquidos como el aceite, combustible y refrigerante, así como sus accesorios y el cuadro eléctrico. Las dimensiones de la cimentación deben exceder las del generador, al menos 200 mm, en los dos sentidos de longitud y anchura.
- ✓ El espacio donde se instale el grupo electrógeno, debe estar preparado para éste y preferiblemente para su uso exclusivo. Será conveniente instalar en la misma sala, tanto los accesorios como las transferencias automáticas o las bombas de trasiego para facilitar la labor de mantenimiento y operación.

La sala debe de estar suficientemente despejada y con accesos adecuados para introducir el grupo y poder instalarlo con seguridad. Es recomendable dejar al menos un metro y medio alrededor del generador. Teniendo en cuenta que si el grupo ya lleva una carrocería, se debe dejar suficiente espacio para poder abrir totalmente las puertas de la misma.

En la figura 17 se observa el diagrama de flujo con entradas y salidas de material sólido y gaseoso. Tomando en cuenta desde el tanque de homogenización hasta el grupo electrógeno.

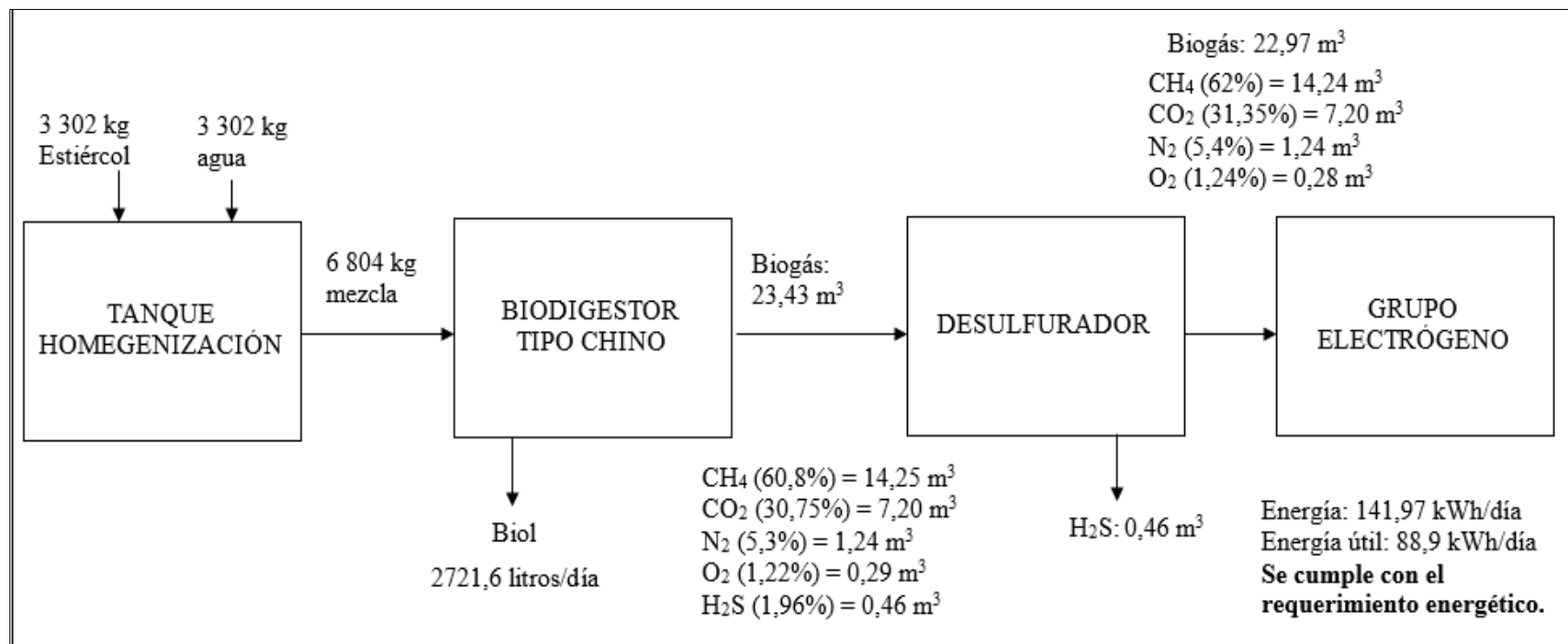


Figura 17. Ciclo de tratamiento del proceso de biodigestión

3.4.4. Selección del tanque de homogenización

Un tanque de homogenización o de igualación es un depósito de cualquier forma con capacidad suficiente para contener el flujo de agua (*Parada, 2014*).

La mezcla contenida en el tanque de homogenización, pasará directamente a la caja del efluente de entrada del biodigestor para que de esta manera se dé inicio al proceso de biodigestión.

Hoy en día existen en el mercado tanques de homogenización del material y del volumen necesario. Para este proyecto se necesitará un tanque que pueda almacenar aproximadamente 7 m³ que es el estiércol y el agua mezclada.

En *Global Trade here*, existen una alta variedad de tanques de homogenización, los cuales sólo se diferencian por el volumen de capacidad, por lo cual se selecciona un tanque de acero inoxidable de 8 m³ de volumen el cual se puede visualizar en la Figura 18 y cuyas dimensiones se encuentran en el Anexo 23.



Figura 18. Tanque de homogenización

A. Método Guerchet

Para determinar el área total que ocupada todo el sistema de tratamiento, se optó por la aplicación del Método de Guerchet, el cual ayudará a la correcta distribución de todos los elementos.

El cálculo es el siguiente:

✓ Superficie estática (Se)

Es el área efectiva ocupada por el equipo, se halla multiplicando sus dimensiones.

*Superficie Estática (Se): largo * ancho*

- ✓ *Tanque de homogenización: $1,5\text{ m} * 1,6\text{ m} = 2,4\text{ m}^2$*
- ✓ *Caja de entrada: $1,07\text{ m} * 1,07\text{ m} = 1,14\text{ m}^2$*
- ✓ *Superficie del biodigestor: $0,5\text{ m} * 0,5\text{ m} = 0,25\text{ m}^2$*
- ✓ *Caja de salida del efluente: $1,07\text{ m} * 1,07\text{ m} = 1,14\text{ m}^2$*
- ✓ *Desulfurador: $\pi * \left(\frac{0,14\text{ m}}{2}\right)^2 = 0,015\text{ m}^2$*
- ✓ *Grupo electrógeno: $3,2\text{ m} * 1,329 = 4,25\text{ m}^2$*

✓ Superficie de gravitación (Sg)

Es el área necesaria para la circulación del operador alrededor de su máquina.
Se calcula multiplicando la superficie estática por el número de lados accesibles a la máquina.

*Superficie de gravitación = Se * N*

N = número de lados accesibles

- ✓ *Tanque de homogenización: $2,4\text{ m}^2 * 1 = 2,4\text{ m}^2$*
- ✓ *Caja de entrada: $1,14\text{ m}^2 * 4 = 4,56\text{ m}^2$*
- ✓ *Superficie del biodigestor: $0,25\text{ m}^2 * 1 = 0,25\text{ m}^2$*
- ✓ *Caja de salida del efluente: $1,21\text{ m}^2 * 4 = 4,84\text{ m}^2$*
- ✓ *Desulfurador: $0,015\text{ m}^2 * 1 = 0,015\text{ m}^2$*
- ✓ *Grupo electrógeno: $4,25\text{ m}^2 * 2 = 8,50\text{ m}^2$*

✓ Superficie de evolución

Es el área necesaria para el movimiento de personas y equipos móviles, se calcula mediante la multiplicación de la suma de la superficie estática y superficie de gravitación con la altura promedio ponderada de personas u objetos que se desplazan “k”, se utiliza la siguiente expresión.

$$k = \frac{h_{EM}}{2 * h_{EE}}$$

$$k = \frac{\frac{(A_{EM} * N_{EM} * h_{prom})}{A_{EM} * N_{EM}}}{2 * \frac{\sum(A_{EE} * N_{EE} * h_{EE})}{\sum(A_{EE} * N_{EE})}}$$

Donde:

k = factor de altura promedio de personas u objetos que se desplazan.

A_{EM} = Área de los objetos móviles, (en nuestro caso se considera el área de las personas).

N_{EM} = Número de elementos móviles.

h_{prom} = Altura promedio de los elementos móviles.

A_{EE} = Área de los elementos estáticos (equipos).

N_{EE} = Número de elementos estáticos.

h_{EE} = Altura de los elementos estáticos.

Reemplazando:

Hallamos la $\sum(A_{EE} * N_{EE} * h_{EE})$ de cada elemento estático:

- ✓ *Tanque de homogenización:* $2,4 \text{ m}^2 * 1 * 1,5 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^3$
- ✓ *Caja de entrada:* $1,14 \text{ m}^2 * 1 * 1,07 \text{ m} = 1,22 \text{ m}^3$
- ✓ *Superficie del biodigestor:* $0,25 \text{ m}^2 * 1 * 0,5 \text{ m} = 1,125 \text{ m}^3$
- ✓ *Caja de salida del efluente:* $1,14 \text{ m}^2 * 1 * 1,07 \text{ m} = 1,22 \text{ m}^3$
- ✓ *Desulfurador:* $0,015 \text{ m}^2 * 1 * 1,08 \text{ m} = 0,016 \text{ m}^3$
- ✓ *Grupo electrógeno:* $4,25 \text{ m}^2 * 1 * 1,729 \text{ m} = 7,35 \text{ m}^3$

Hallamos la $\sum(A_{EE} * N_{EE})$ de cada elemento estático:

- ✓ *Tanque de homogenización:* $2,4 \text{ m}^2 * 1 = 2,4 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de entrada:* $1,22 \text{ m}^2 * 1 = 1,22 \text{ m}^2$
- ✓ *Superficie del biodigestor:* $0,25 \text{ m}^2 * 1 = 0,25 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de salida del efluente:* $1,22 \text{ m}^2 * 1 = 1,22 \text{ m}^2$
- ✓ *Desulfurador:* $0,015 \text{ m}^2 * 1 = 0,015 \text{ m}^2$
- ✓ *Grupo electrógeno:* $4,25 \text{ m}^2 * 1 = 4,25 \text{ m}^2$

$$k = \frac{\frac{0,50 \text{ m}^2 * 6 * 1,65 \text{ m}}{0,5 \text{ m}^2 * 6}}{2 * \frac{3,6 \text{ m}^3 + 1,22 \text{ m}^3 + 1,125 \text{ m}^3 + 1,22 \text{ m}^3 + 0,015 \text{ m}^3 + 7,35 \text{ m}^3}{2,4 \text{ m}^2 + 1,22 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ m}^2 + 1,22 \text{ m}^2 + 0,015 \text{ m}^2 + 4,25 \text{ m}^2}}$$

$$K=0,53$$

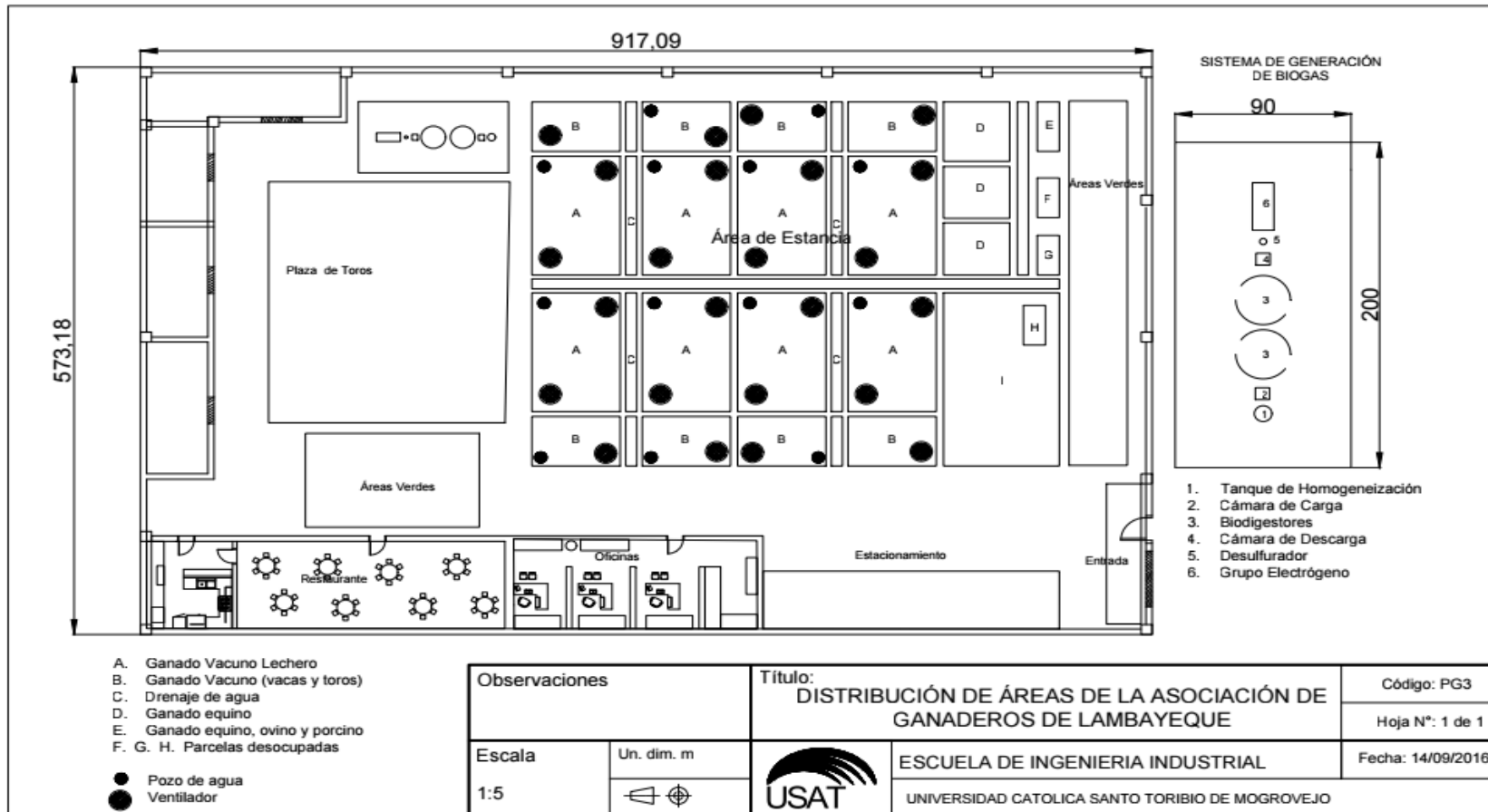
Obtenido el valor de “k”, las áreas de evolución respectivas:

- ✓ *Tanque de homogenización:* $0,53 * (2,4 \text{ m}^2 + 2,4 \text{ m}^2) = 2,54 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de entrada:* $0,53 * (1,22 \text{ m}^2 + 1,22 \text{ m}^2) = 1,29 \text{ m}^2$
- ✓ *Superficie del biodigestor:* $0,53 * (0,25 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ m}^2) = 0,27 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de salida del efluente:* $0,53 * (1,21 \text{ m}^2 + 1,21 \text{ m}^2) = 1,29 \text{ m}^2$
- ✓ *Desulfurador:* $0,53 * (0,015 \text{ m}^2 + 0,015 \text{ m}^2) = 0,016 \text{ m}^2$
- ✓ *Grupo electrógeno:* $0,53 * (4,25 \text{ m}^2 + 8,50 \text{ m}^2) = 6,76 \text{ m}^2$

Las áreas totales corresponden a:

- ✓ *Tanque de homogenización:* $2,4 \text{ m}^2 + 2,4 \text{ m}^2 + 2,54 \text{ m}^2 = 7,34 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de entrada:* $1,22 \text{ m}^2 + 1,22 \text{ m}^2 + 1,29 \text{ m}^2 = 3,73 \text{ m}^2$
- ✓ *Superficie del biodigestor:* $0,25 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ m}^2 + 0,27 \text{ m}^2 = 0,7 \text{ m}^2$
- ✓ *Caja de salida del efluente:* $1,22 \text{ m}^2 + 1,22 \text{ m}^2 + 1,29 \text{ m}^2 = 3,73 \text{ m}^2$
- ✓ *Desulfurador:* $0,015 \text{ m}^2 + 0,015 \text{ m}^2 + 0,016 \text{ m}^2 = 0,046 \text{ m}^2$
- ✓ *Grupo electrógeno:* $4,25 \text{ m}^2 + 8,50 \text{ m}^2 + 6,76 \text{ m}^2 = 19,61 \text{ m}^2$

El área total para la planta de tratamiento es de $35,16 \text{ m}^2$.



PLANO A-06. Distribución de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

3.5 Análisis costo – beneficio

3.5.1. Inversiones

En esta parte del proyecto se determinó la factibilidad económica y financiera del proyecto.

Para ello se muestran las tablas relacionadas y los resultados obtenidos.

La estimación de la inversión y la elaboración de los cuadros correspondientes provienen del estudio técnico del proyecto donde se han especificado las características de los equipos necesarios para el sistema de generación de biogás

Las fuentes de información para la estimación de la inversión usadas fueron: proyectos similares de empresas relacionadas a la generación y distribución de la energía eléctrica, registros de la empresa donde se aplica el proyecto, consultoras especializadas, entre otros.

A. Activo fijo o inversión tangible

Los activos fijos de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, están dados por los bienes que serán usados a lo largo de la vida útil de la Asociación.

Para este cálculo se basó en las elecciones, anteriormente vistas, mediante el Método de Factores ponderados en los que se optó por la mejor propuesta en factores económicos, ambientales, de mantenimiento, de repuestos, entre otros; del generador de energía eléctrica y del tipo de ventilador para establos ganaderos.

✓ Maquinaria

En la tabla 28, se detalla la maquinaria que se requiere para llevar a cabo este proyecto así como los costos de adquisición de los productos.

Tabla 28. Costo de maquinaria

Descripción	Cantidad	Valor unitario (S/.)	Valor total (S/.)
Ventilador JFD-N Aonoudi	24	399,99	9 599,76
CG170-16 CATERPILLAR	1	250 000	250 000
Tanque de homogenización	1	2 000	2 000
TOTAL			263 359,76

✓ Construcción biodigestor

Los costos de construcción se estimaron en base a lo establecido por *Qosko (2012)*, en su estudio “*Construcción y evaluación de un biodigestor modelo chino mejorado para zonas andinas*”, cuyo proyecto fue encargado por el Ministerio de agricultura para el Distrito de Yaurisque en Cusco.

Estos costos fueron adaptados a la magnitud del volumen del biodigestor, y los costos se observa en la tabla 29.

Tabla 29. Costo de materiales de construcción del biodigestor

Volumen del prototipo: 154,17 m³		
Materiales	Cantidad	Costo (S/.)
Alambrón	1 520 kg	5 320
Cemento	712 bolsas	10 416
Arena	92 cubos	4 600
Piedra	31 cubos	1 550
Ladrillos mecanizados de 12 huecos	21 274 ladrillos	13 402,62
Tubo PVC 8” de 5 m	31 unidades	2 790
Tubo PVC ½” de 6 m	92 unidades	1 104
Codo 90° PVC	4 unidades	62
Impermeabilizante	61 baldes	1 220
Arcilla	304 kg	304
TOTAL		40 768,62

✓ Construcción desulfurador

El desulfurador será construido por alguien que conozca acerca del diseño, la lista de materiales y precios en el mercado se detallan en la tabla 30.

Tabla 30. Costo de materiales para construcción de desulfurador

Material	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Limallas de fierro	5	568,88	2 844,38
Bases de Hierro	2 m	50	100
Tubería Acero galvanizado 2”	7,5 m	55,86	223,44
Tubería conducción acero galvanizado 2”	8 m	228,64	457,28
Válvula de Globo Polo	2	20,50	41
Codos Acero	2	18	36
Medio Filtrante	1	1500	1500
Manómetro baja presión	1	220	220
TOTAL			5 422,10

✓ Equipos

Para mantener el proceso de digestión anaerobia en buenas condiciones se requerirá de algunos equipos que midan presión, temperatura y pH; y para mantener el biodigestor siempre en condiciones aptas se requerirán equipos de mantenimiento.

Los equipos y costos se detallan en la tabla 31.

Tabla 31. Costo de equipos

Equipo	Costo total (S/.)
Hidrotermómetro digital	80
pH-metro	90
Manómetro	90
Termo resistencias	40
Termocuplas	50
Herramientas de mantenimiento	200
Equipos de seguridad	300
TOTAL	850

✓ Mano de obra y mantenimiento

Los datos salariales fueron tomados de la página web oficial de la Federación de trabajadores de construcción civil del Perú, de las tablas salariales 2018-2019 (Ver anexo 26 y 27).

Se considera que el mantenimiento se realizará una vez cada dos meses, es decir en un año se realizarán 6 días por dos operarios de mantenimiento, para asegurar las buenas condiciones de limpieza y asegurar el buen desarrollo del proceso de digestión anaeróbica.

Tabla 32. Costo mano de obra y mantenimiento

Descripción	Número de personas	Salario semanal (6 días) (S/.)	Tiempo de trabajo	Costo total (S/.)
Construcción biodigestor	5	288,6	3 semanas	4 329
Construcción desulfurador	1	288,6	4 días	192,4
Mantenimiento	2	403,2	6 días al año	806,4
TOTAL				5 327,8

Tabla 33. Resumen - Inversión total en el año 0

INVERSIÓN EN EL AÑO 0	
Descripción	Costo total (S/.)
Costo maquinaria	263 359,76
Construcción biodigestor	40 768,62
Construcción desulfurador	5 422,10
Equipos	850
TOTAL	310 400,48

❖ **Depreciación de activos fijos**

Según *SUNAT*, depreciación es la pérdida o disminución del valor de un activo fijo debido al uso, a la acción del tiempo o a la obsolescencia. La depreciación tiene por objeto ir separando y acumulando fondos para restituir un determinado bien, que va perdiendo valor por el uso.

En la tabla 34 se muestra los porcentajes de depreciación de acuerdo con el artículo 22° del Reglamento de la Ley de impuesto a la renta D.S. N° 122-94-EF.

Tabla 34. Depreciación de la inversión fija

DEPRECIACIÓN	
Maquinaria	10%
Equipos	25%
Edificaciones	3%

Ahora, en la tabla 35 se muestra los valores de depreciación de los activos fijos necesarios para llevar a cabo el proyecto de obtención de biogás.

Tabla 35. Depreciación de activos fijos

		Valor (S/.)	Depreciación anual (S/.)
Maquinaria	Grupo electrógeno	250 000	2 500
	Tanque de homogenización	2 000	200
	Ventiladores	9 599,76	959,98
Equipos	Equipos biodigestor	350	87,5
	Herramientas mantenimiento	200	50
	Equipos de seguridad	300	75
Edificaciones	Biodigestor	46 768,62	1 403,06
	Desulfurador	5 422,10	162,66
TOTAL ANUAL			4 438,14

*El valor de depreciación es el mismo durante todos los años.

B. Capital de trabajo

El Capital de Trabajo considera aquellos recursos que requiere el Proyecto para atender las operaciones de producción y comercialización de bienes o servicios y, contempla el monto de dinero que se precisa para dar inicio al Ciclo Productivo del Proyecto en su fase de funcionamiento. En otras palabras, es el capital adicional con el que se debe contar para que comience a funcionar el proyecto, esto es financiar la producción antes de percibir ingresos (*Universidad Mayor de San Simón, 2005*).

En efecto, desde el momento que se compran insumos o se pagan sueldos, se incurren en gastos a ser cubiertos por el Capital de Trabajo en tanto no se obtenga ingresos por la venta del producto final. Entonces el Capital de Trabajo debe financiar todos aquellos requerimientos que tiene el Proyecto para producir un bien o servicio final. Entre estos requerimientos se tienen los materiales directos e indirectos, mano de obra directa e indirecta, gastos administrativos, otros (mantenimiento, combustible, limpieza, entre otros) que requieran salidas de dinero en efectivo (*Universidad Mayor de San Simón, 2005*).

La Inversión en Capital de Trabajo se diferencia de la inversión fija, porque estas últimas pueden recuperarse a través de la depreciación y amortización diferida; por el contrario, el capital de trabajo no puede recuperarse por estos medios dados su naturaleza de circulante; pero puede resarcirse en su totalidad a la finalización del Proyecto (*Universidad Mayor de San Simón, 2005*).

El capital de trabajo es un activo corriente del proyecto que se utiliza en el corto plazo (*Andrade 2005*).

En la tabla 36, se observan los salarios del capital de trabajo anual. Se consideró que existirá un técnico para la verificación y mantenimiento del grupo electrógeno, el cual operará un total de 6 días al mes, lo que se considera como una semana al mes.

Según *la Federación de trabajadores en construcción civil del Perú*, establecido en la tabla salarial con beneficios sociales (ver anexo 28); los salarios son:

Tabla 36. Capital de trabajo anual – 2016

CAPITAL DE TRABAJO				
Tiempo		1 año		
Tasa de crecimiento		20%		
Mano de obra directa	Cantidad	Pago (S/.)	Tiempo de trabajo	Total anual (S/.)
Operarios biodigestores	2	1 612	Mensual	38 688
Técnico grupo electrógeno	1	67,2 (jornal básico)	1 vez al mes	806,4
Operarios mantenimiento (limpieza)	2	67,2	1 vez al mes	1 612,8
Gastos administrativos	Cantidad	Pago mensual	Total anual	
Capacitaciones			1 800	
	Otros			
Insumos		5 000		5 000
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO				S/. 46 107,2

La tasa de crecimiento del capital de trabajo es del 20%, la proyección a 4 años más se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Proyección de capital de trabajo

Años	Valor (S/.)
Año1: 2016	46 107,2
Año2: 2017	55 328,6
Año 3: 2018	66 394,4
Año 4: 2019	79 673,2
Año 5: 2020	95 607,9

C. Costos de producción e ingresos

Los costos de producción son los valores de los recursos reales o financieros utilizados en la adquisición de factores y medios de producción o fabricación y en la distribución de bienes y servicios (*Andrade 2005*).

Los costos de producción se clasifican como costos fijos, variables y gastos administrativos.

Los costos fijos son los costos de los factores fijos de la empresa y, por lo tanto, a corto plazo son independientes del nivel de producción.

Para el proyecto se consideran como costos fijos a la mano de obra directa, depreciación, seguros, etc.

En cambio el costo variable depende por el contrario de la cantidad empleada de los factores variables, y por tanto, del nivel de producción. En el proyecto, el costo variable se considerará el 10% de las ventas.

Los gastos administrativos, son los gastos reconocidos sobre las actividades administrativas globales de una empresa, para el proyecto se ha considerado: mano de obra indirecta, impuestos, pago de servicios, combustible, materiales varios, etc.

En la tabla 38 se muestra el costo total de los salarios a trabajadores, sólo se consideró seguro social del 9% (el cual es el aporte a Essalud) ya que otros beneficios ya están considerados dentro del salario.

Mientras que en la tabla 39 se muestran las proyecciones, tomando en cuenta un crecimiento de 7% anual.

Tabla 38. Costos de producción. Costos fijos

<i>Costos fijos (Mano de obra directa, materiales directos, depreciación, seguros, etc.)</i>						
Operarios	Cantidad de operarios	Sueldo mensual (S/.)	Total anual (S/.)	Seguro social (S/.)	Neto a pagar (S/.)	Año 0 (S/.)
				9%		
Operario biodigestores	2	1 612	38 688	3 481,9	42 169	42 169
Técnico grupo electrógeno	1	1 612	806,4	-	806,4	806,4
Operarios mantenimiento	2	1 612	1 612,6	-	1 612,6	1 612,6
TOTAL	7					S/. 44 588

*Técnico del grupo electrógeno y operarios de mantenimiento (limpieza) sólo trabajará una vez al mes, no se considera seguro social.

El crecimiento de los costos fijos anuales es de 7%.

Tabla 39. Proyección de costos fijos

<i>Costos fijos (S/.) (Mano de obra, materiales directos, depreciación, seguros, etc.)</i>					
Operario	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Biodigestor	61 530,05	65 837,15	70 445,75	75 376,96	80 653,34
Descarga de biol y tanque de homogenización	30 765,03	32 918,58	35 222,88	37 688,48	40 326,67
Desulfurador	30 765,03	32 918,58	35 222,88	37 688,48	40 326,67
Grupo electrógeno	6 258,63	6 696,74	7 165,51	7 667,09	8 203,79
Mantenimiento	2 696,44	2 885,19	3 087,16	3 303,26	3 534,49
TOTAL	132 015,18	141 256,24	151 144,18	161 724,27	173 044,97

Se considerará personal encargado de verificar el funcionamiento del sistema de tratamiento, así como capacitaciones e insumos de limpieza para el mantenimiento.

En la tabla 40 se muestra la lista de requerimiento y costos.

Tabla 40. Costos de producción y gastos administrativos

<i>Gastos administrativos (Mano de obra indirecta, servicios, insumos, otros)</i>						
	Cantidad	Sueldo mensual (S/.)	Total anual (S/.)	Seguro social	Neto a pagar (S/.)	Año 0 (S/.)
				9%		
Capacitaciones	7 días	-	1 800	-	1 800	1 800
Insumos (limpieza, mantenimiento, repuestos)	-	-	5000	450	5 866,50	5 866,50
TOTAL					S/. 7 666,5	

Crecimiento de los gastos administrativos al año es de 6%.

En la tabla 41 se muestran las proyecciones tomando en cuenta que estas tendrán un crecimiento del 6% anual.

Tabla 41. Proyección Gastos administrativos

<i>Gastos administrativos (S/.) (Mano de obra indirecta, servicios, insumos, otros)</i>					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capacitaciones	2 238,66	-	-	-	-
Insumos	6 218,49	6 591,59	6 987,09	7 406,32	7 850,70
TOTAL	8 457,15	6 591,59	6 987,09	7 406,32	7 850,70

*Las capacitaciones sólo se consideran en el primer año.

3.5.2 Ingresos

B. Producción de leche

Los ingresos por producción y venta de leche en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque se ve afectado en los meses diciembre a mayo, siendo una diferencia de 1 000 litros diarios del total de vacas lecheras.

Los ingresos de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque, está representado principalmente con la venta de leche; cuyas proyecciones 2018 – 2022 se observan en el Anexo 28.

Según (*Bedolla*), la producción de letra diaria de una vaca es de 25 litros y en épocas de verano cuando la temperatura alcanza hasta 30° disminuye a 18 litros al día.

En la tabla 42 se muestran los ingresos anuales proyectados con la venta de leche (Ver anexo 29), cuyo precio de comercialización al público en general es de S/.0,90 / litro (*Comerciantes de leche, Asociación de Ganaderos de Lambayeque*); tomando en cuenta la producción de leche antes de la implementación, siendo de 18 litros al día.

Tabla 42. Ingresos anuales venta de leche 2018-2022

Año	Ingresos (S/.)
2018	1 618 542
2019	1 579 046
2020	1 584 360
2021	1 573 976
2022	1 587 827

Para determinar los litros adicionales de leche que se obtendrían a partir de la puesta en marcha del sistema de ventilación, se tomó como dato el resultado obtenido en “*Estrés por calor: Estrategias para mitigar sus efectos y mejorar la rentabilidad del establecimiento lechero*”, el cual indica que después de la implementación de ventiladores en su establecimiento la producción adicional por vaca fue de 7 litros al día.

A continuación en la tabla 43, se muestra los ingresos adicionales de leche (Anexo 30) en relación a lo escrito en el párrafo anterior, con la implementación del sistema de ventilación.

Tabla 43. Ingresos adicionales anuales venta de leche 2018-2022

Año	Ingreso adicional (S/.)	Total de egresos (S/.)	Utilidad operativa (S/.)
2018	629 433	140 472,33	488 960,67
2019	614 073	147 847,83	466 225,17
2020	616 140	158 131,27	458 008,73
2021	612 101	169 130,59	442 970,41
2022	617 800	180 895,67	436 592,33

**Utilidad operativa=ingresos adicionales – total de egresos*

3.5.3 Cálculo Costo – Beneficio

Según *Díaz (2000)*, el análisis de costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.

Este método se aplica a obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc., prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas.

Se utiliza el análisis Costo-Beneficio, la medida de la contribución de un proyecto se establece, en términos de beneficio, que cualquiera puede acumular en algún momento y el costo en el cual se incurrirá. Un proyecto se puede justificar únicamente si los costos son menores a los beneficios, es decir, si la relación beneficio-costo es mayor a 1.

Para el cálculo del Costo – Beneficio, se tomarán las utilidades operativas, el cual se halla con la resta de costos ingresos de venta de leche adicional y el total de egresos, con el costo de producción.

Se toman los datos del año 2018.

Tabla 44. Costos y utilidad operativa - año 2018

FACTORES ANUALES	
COSTOS TOTALES (S/.)	S/. 178 122,4
UTILIDAD OPERATIVA (S/.)	S/. 488 960,67

$$\text{Beneficio} / \text{Costo} = \frac{450\,532 \text{ soles}}{178\,122,4 \text{ soles}} = 2,74 \text{ soles}$$

El resultado se interpreta que, por cada sol invertido se percibe una ganancia de S/.1,74. En conclusión este proyecto si es viable.

3.5.4 Financiamiento

Fuentes de financiamiento

Haremos mención de las principales fuentes de financiamiento para proyectos de desarrollo social en el país.

a) Ministerio de energía y Minas

El ministerio de energía y minas tiene varias dependencias entre las cuales es el subsector de energía que tiene como propósito: conseguir la seguridad y la calidad del suministro y el uso sensato y eficiente de los recursos de energía, tanto como el uso de la energía alternativa, como mantener en orden el ambiente, además el desarrollo de la infraestructura de energía en los lugares aislados.

Dentro del subsector de energía tiene un área de electricidad, esta área busca promocionar la inversión particular en la transmisión, generación a distribución eléctrica y proyectos de electrificación rural.

La Dirección Ejecutiva de proyectos mantiene un esfuerzo continuo de agrandar las fronteras eléctricas en las áreas rurales y aisladas a través de sistemas eléctricos aislados e integrarlos al Sistema Eléctrico de red nacional (*Ministerio de energía y minas, 2010*).

b) Fondo Nacional del Ambiente

Es una entidad que financia proyectos y actividades orientadas al mejoramiento de la calidad ambiental del Perú. Es una institución de derecho privado sin fines de lucro encargada de promover la inversión pública y privada en el desarrollo de proyectos prioritarios ambientales en el Perú.

Sus actividades se dirigen a promover la inversión en planes, programas y proyectos orientados al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales, y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental (*Sistema nacional de información ambiental, 2013*).

c) Banco de desarrollo Interamericano

El Banco de desarrollo Interamericano es una institución con los nuevos mandatos, herramientas, y programas de cooperación técnica y proyectos de desarrollo económico y social. Es la fuente principal de financiamiento cuando se trata de proyectos de desarrollo económico-social e institucional, también con el programa de integración comercial y regional en América Latina y el Caribe (*Gestiopolis, 2005*).

d) Banco Mundial

El Banco Mundial es una fuente vital de financiamiento y asistencia técnica para países en vías de desarrollo alrededor del mundo. El Banco Mundial es respaldado por el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (IRBD) y la Asociación Internacional del Desarrollo (IDA). Provee préstamos de bajos intereses, créditos libres de intereses y subvención a países en vías de desarrollo para educación, salud, infraestructura, comunicaciones y muchos otros propósitos.

Sus proyectos apuntan a desarrollar y demostrar un marco para el suministro de electricidad pública-privada en áreas rurales del Perú que puedan atraer inversión del sector privado así como del nacional, regional y gobierno local (*Banco mundial, 2014*).

e) Grupo Intermediario de Desarrollo de Tecnología

El Grupo Intermediario de Desarrollo de Tecnología (ITDG) aspira a demostrar y defender el uso sostenible de tecnología para reducir la pobreza en países en vías de desarrollo de todo el mundo.

El ITDG ha desarrollado planes de micro centrales hidráulicas con comunidades en Perú y otros países en vías de desarrollo.

En el Perú, proyectos pilotos subsidiados sobre micro centrales hidráulicas han convencido a un institución clave, el Banco Interamericano de Desarrollo, para solventar el desarrollo

comercial de micro centrales hidráulicas a través de un fondo giratorio donde la paga de un préstamo original es usado para proveer fondos para futuras micro centrales hidráulicas (Chávez, 2008).

Evaluando a estas organizaciones, se pudo establecer una tasa de interés anual promedio del 16% que permite poder pagar el préstamo en un periodo de 5 años, y además contar con los dos primeros años de gracia; hasta que la Asociación de Ganaderos de Lambayeque obtenga ingresos suficientes que permitan pagar la deuda y la amortización sin generar pérdidas.

Se solicitará un préstamo equivalente a S/.350 000; la cantidad restante, es decir, S/. 250 000 será financiado por la Asociación de Ganadero de Lambayeque.

El préstamo, como se observa en la Tabla 45, será cancelado en cuotas anuales durante 5 años.

Tabla 45. Detalles del préstamo bancario

FINANCIAMIENTO	
Préstamo	S/.350 000
Tasa de interés efectiva anual	16%
Periodos anuales	5
Factor de recuperación (FR)	0,0030
Servicio de deuda (Préstamo * FR)	106 893,28
Periodos de gracia	2

La deuda al banco se cancelará una vez al mes durante dos años, siendo la cuota anual de S/.106 893,28 como se observa en la tabla 46.

Tabla 46. Servicio de deuda

AÑO	PRINCIPAL INICIO (S/.)	AMORTIZACIÓN (S/.)	INTERÉS (S/.)	SERVICIO DE DEUDA (S/.)	PRINCIPAL FINAL (S/.)
1	350 000	50 893,28	56 000	106 893,28	299 106,72
2	299 106,72	59 036,21	47 857,07	106 893,28	240 070,51
3	240 070,51	68 482	38 411,28	106 893,28	171 588,51
4	171 588,51	79 439,12	27 454,16	106 893,28	92 149,38
5	92 149,38	92 149,38	14 743,90	106 893,28	0,00

3.5.5 Evaluación económica

Tabla 47. Flujo de caja

CONCEPTO / AÑOS	AÑO 0	AÑO 01	AÑO 02	AÑO 03	AÑO 04	AÑO 05
I. INGRESOS (S/.)						
1.-Total Ingreso		629 433	614 073	616 140	612 101	617 800
Ventas		629 433	614 073	616 140	612 101	617 800
II. EGRESOS (S/.)						
Costo de Inversión						
(Activo Fijo Tangible)	319 400,48					
(Capital de Trabajo)	46 107,2					
(Imprevistos 10 %)	36 550,77					
(Total de Inversión)	402 058,45					
Egresos por Actividad						
2.-Total Egresos	600 000	140 472,33	147 847,83	158 131,27	169 130,59	180 895,67
(Costo de Producción)		132 015,18	141 256,24	151 144,18	161 724,27	173 044,97
(Gastos Administrativos)		8 457,15	6 591,59	6 987,09	7 406,32	7 850,7
Utilidad Operativa		488 960,67	466 225,17	458 008,73	442 970,41	436 592,33
(Depreciación)		6 234,19	6 234,19	6 234,19	6 234,19	6 234,19
Utilidad antes de Impuestos		482 726,48	459 990,98	451 774,54	436 736,22	430 358,14
Utilidades distribuidas personal 8%		38 618,12	36 799,28	36 141,96	34 938,90	34 428,65
(Impuesto a la Renta 30%)		133 232,51	126 957,51	124 689,77	120 539,20	11 878,85
(Inversión)	250 000					
Depreciación		6 234,19	6 234,19	6 234,19	6 234,19	6 234,19
FCE	-250 000	317 110,04	302 468,38	297 176,99	287 492,32	283 384,83
Préstamo	350 000,00					
Flujo caja neto		130 372,88	134 106,88	138 288,95		
FCF	100 000	186 737,16	168 361,51	158 888,04	287 492,32	283 384,83
Caja acumulada	100 000	286 737,16	455 098,67	613 986,71	901 479,03	1 184 863,86

(Unidad general: S/.)

3.5.6 Periodo de recuperación

En todo proyecto en el cual se espera la característica de rentable, se tiene como premisa la recuperación de la inversión, entonces, el tiempo que se demore en recuperar el dinero invertido o “Período de Payback”, se vuelve muy importante, ya que de esto dependerá cuan rentable es, y qué tan riesgoso será llevarlo a cabo. Cuanto más corto sea el periodo de recuperación, menos riesgoso será el proyecto. Por ello se debe hacer especial mención, cuanto más se vaya hacia el futuro, serán mayores las incertidumbre (*gestiopolis, 2015*).

Tabla 48. Periodo de recuperación

Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (S/.)		727 131,40	751 429,25	787 627,74	823 311,02	866 130,87
Inversión (S/.)	600 000					
Saldo por recuperar (S/.)		127 131,40				

Como se observa en la Tabla 48, tan sólo el primer año se recuperaría lo invertido. Ahora se calculará, el tiempo exacto de esta recuperación de capital:

Primero, se divide la inversión con la diferencia del ingreso en el año 1 y la inversión inicial; dando como resultado:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{600\,000 \text{ nuevos soles}}{127\,131,40 \text{ nuevos soles}} = 04,72 \text{ meses}$$

$$0,72 \text{ meses} * \frac{26 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 18,72 \text{ días} \approx 19 \text{ días}$$

En conclusión, la inversión se recuperaría en 1 año, 4 meses y 19 días.

IV. CONCLUSIONES

- ✓ Mediante la implementación de un sistema de ventilación accionado por biogás proveniente de una mezcla de estiércol y agua de bebederos de la Asociación de ganaderos de Lambayeque, se normalizaría la producción de leche en los meses de verano (recuperándose los 7 litros perdidos por el estrés por calor) debido a la baja de producción generado por el estrés por calor, de esta manera aumentarían los ingresos por venta de leche en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.
- ✓ La cantidad de estiércol generada en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque en el año 2018 es suficiente para cubrir con el requerimiento energético de los equipos de ventilación que se instalarán en las zonas de estancia del ganado vacuno lechero, serán necesarios la producción de estiércol generado por sólo 66 cabezas de ganado lo que representa el 30% de la población vacuna.
- ✓ La caracterización de la mezcla (agua con estiércol) indica que por cada kilogramo de estiércol se obtienen 0,005 m³ de CH₄ mostrando, con los cálculos realizados en esta investigación, que esta es la cantidad esperada de metano para la obtención de biogás.
- ✓ El sistema de tratamiento del estiércol seleccionado consiste en un tanque de homogenización, dos biodigestores tipo chino con una capacidad de 3 302 m³ cada uno, un desulfurador y finalmente el grupo electrógeno generador de energía con una capacidad de generar hasta 143 kW, el cual alimentará a 24 ventiladores JFD-N Aonoudi los cuales consumirán 88,8 kW al día, los cuales serán instalados estratégicamente en las áreas de estancia del ganado lechero con la finalidad de disminuir el estrés por calor en el ganado vacuno y evitar la baja de producción de leche en temporada de verano.
- ✓ El análisis costo beneficio dio como resultado que por cada S/.1 invertido se percibirá una ganancia de S/.1,74; además el periodo de recuperación es de 1 año, 4 meses y 19 días.

V. RECOMENDACIONES.

- ✓ Evaluar los beneficios económicos del fertilizante líquido llamado también biol, el cual es uno de los subproductos provenientes de la digestión anaerobia y que tiene una gran producción.
- ✓ Realizar un estudio detallado acerca de los beneficios económicos que traerían los bonos de carbono.
- ✓ Dar aun mayor alcance a la propuesta presentada, llegando a abastecer de energía eléctrica más áreas de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Carlos, Ofelia Solís, Óscar Villegas, y Lina Cardoso. 2012. Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Einsenias foetida*. *Agronomía costarricense* 37(1):127-139.
- Acosta, Yaniris, y Cristina Obaya. 2005. La digestión anaerobia Aspectos teóricos Parte I. *Revista ICIDCA: Sobre los derivados de la caña de azúcar* 39: (1):35-48.
- Accuweather (2016). Acceso: Octubre 2016.
- Agroecología. 2014. Desechos a energía. Acceso: Octubre 2016.
- Anders, Scott. 2007. Biogas production and use on California's dairy farms. A survey of regulatory challenges. EPIC (Energy policy initiatives center). University of San Diego School of law. EE.UU.
- Andina. 2008. Venta de bonos de carbono se convierte en negocio rentable. Acceso: Noviembre 2016.
- Annan, Kofi (del secretario general de las Naciones Unidas). 2001. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Día mundial del Medio Ambiente.
- Arana, S. 2011. Manual de elaboración de biol. Cusco: Soluciones prácticas. Acceso: Octubre 2016.
- Asociación Español de Biogás – AEBIG. 2014. Acceso: Agosto 2016.
- Banco mundial. 2014. Banco internacional de reconstrucción y fomento. Acceso: Octubre 2016.
- Bartaburu, Danilo. 2001. La vaca lechera en el verano: sombra, agua y manejo. *Revista del plan agropecuario*. Acceso: Setiembre 2016.
- Bautista, Alejandro. 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua). Tesis - Universidad Carlos II de Madrid, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. España.
- Bedolla, Carlos. 2012. Efectos del estrés calórico en la producción y reproducción del ganado lechero.
- Bombal, Enrique y Valencia Gustavo. 2015. Estrés por calor: Estrategias para mitigar sus efectos y mejorar la rentabilidad del establecimiento lechero. V Seminario de producción pecuaria. Chile.
- Bothi, Kimberly, y Brian Aldrich. 2005. Feasibility study of a central anaerobic digester for ten dairy farms in Salem N.Y. Manure management program Cornell University.

- Bradfer, Jean-Francois. 2008. Generación y uso del biogás: una alternativa de eficiencia económica. Seminario Expoquim. Chile. Acceso: Noviembre 2016.
- Casas, Miguel, et al. 2009. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la Cuenca de Delicias, CHIH. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal 24(13).
- Castillo, Rafael, Ronald Torrejón, Gonzalo Zegarra, Juan Huambachano y, José Ramírez. 2014. Conceptos teóricos y fundamentos de ventilación. Acceso: Julio 2016.
- Castro, Alejandra, y Carmen Durán de Bazúa. 2002. Procesos de separación: Aplicaciones para la cuantificación de biogases producidos en reactores anaerobios. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal 17(2): 8.
- CATERPILLAR. Grupo electrógeno G3306. Acceso: Octubre 2016.
- CATERPILLAR. Grupo electrógeno G3508. Acceso: Octubre 2016.
- Chávez, Zaida. 2008. Generación de electricidad a partir de las aguas residuales de Chiclayo. Tesis de pregrado – Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Craig, James, David Vaughan, y B. Skinner. 2007. Recursos de la tierra: Origen, uso e impacto ambiental. España: Pearson Educación.
- Córdova, S. y B. Miño. 2015. Producción de biogás a partir de gallinaza con la adición de promotores de fermentación a 3 dosis, cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, periodo 2014-2015. Tesis, Universidad Técnica de Cotopaxi – Unidad académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Ecuador.
- Cruz, Héctor. 2013. Biogás, una alternativa energética real para México. Monografía - Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Química. México.
- Cuchillo, Olga. 2015. Ingeniería y construcción: biodigestores, importancia y beneficio. Acceso: Setiembre 2016.
- Czarick, Michael y Fairchild Brian. 2011. Cómo la ubicación de los ventiladores afecta el rendimiento y la distribución del aire. Parte I, Volumen 23, Número 9. The University of Georgia.
- DeLaval. 2006. Ventilador para granjas DeLaval DF1300: Aire fresco en toda la explotación. Acceso: Junio 2016.
- DeLaval. 2011. Ventilador para instalaciones lecheras DeLaval DF500. Acceso: Junio 2016.
- Díaz, Carlos y Mercedes Barros. 2018. Los indicadores del bienestar animal y su importante relación con la producción del ganado de leche. Machala: Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

- Díaz, Rafael. 2000. Evaluación del costo – beneficio. Acceso: Octubre 2016.
- Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos – El caso Perú. 2004. Acceso: Agosto 2016.
- Doroteo, Juan. 2012. Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México. Tesis, Instituto Politécnico Nacional – Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. México.
- Duvauchelle, Joshua. 2014. Las ventajas del uso de estiércol como fertilizante. Acceso: Setiembre 2016.
- Embleton, Karla. 2001. Manejo del estiércol del ganado: Introducción y resumen. Acceso: Setiembre 2016.
- Eroski Consumer. 2005. Acceso: Setiembre 2016.
- Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México. 2010. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. México.
- Etw Adversiting. Ventilador de escape para establos/pesebreras JFD-N Aonoudi. Acceso: Setiembre 2016.
- Extension, Org. 2014. Estrategias de enfriamiento durante el estrés por calor. Acceso: Setiembre 2016.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. 2011. Biogas. Acceso: Noviembre 2016.
- Fernández, Vadick, Liset Rodríguez, y Nohemi Aquina. 2014. Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios. Ciencia Amazónica 4(1):67-77.
- Fundación Hábitat Colombia. 2005. Biodigestores: una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Acceso: Octubre 2016.
- Gamarra, Oscar, José Mostacero, Rosa Rodríguez, y Elías Torres. 2013. Biogás y bioabono productos en biodigestores tubulares. Acceso: Octubre 2016.
- García, Karina. 2009. Codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuradora para producción de biogás. Tesis, Universidad de Cádiz – Departamento Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. España.
- Geo-soluciones. 2016. Biodigestores. Acceso: Agosto 2016.
- Gestipolis. 2005. Banco Interamericano de desarrollo BID. Acceso: Octubre 2016.
- Gestipolis. 2015. Cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback. Acceso: Octubre 2016.

- Giraldo, W. y E. Espinoza. 2005. Determinación del rendimiento del biogás producido por el estiércol de diferentes animales en el Centro de Producción Tingua-UNASAM. Tesis, Universidad Nacional de Ancash Santiago Antúnez de Mayolo – Unidad académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Perú.
- Gómez, Pablo. 2014. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Acceso: Mayo 2016.
- Gómez, Susana. 2012. Diseño, construcción y puesta a punto de un biodigestor tubular Carazo-Nicaragua. Tesis post-grado, Universidad Carlos III de Madrid – Departamento de CC e Ing. Materiales e Ing. Química. España.
- Gonzales, Exequiel, Castillo Fiorella, Correa Stefany y Retto Claudia. 2017. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la Agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. Universidad de Piura, Escuela de ingeniería industrial y de sistemas. Piura.
- Gordón, Jorge, y José Samaniego. 2014. Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir de estiércol vacuno en la finca “Los 5 hermanos” de la parroquia El Dorado. Tesis, Escuela superior politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias, escuela de Ciencias Químicas. Ecuador.
- Guerrero, Luz. 2014. Tipo de biodigestores y sus diseños. Acceso: Junio 2016.
- Gutiérrez, Guadalupe, Iram Fernández, María Meza, Anacleto Fuentes, José Balderas, y Pablo Moroyoqui. 2012. Biogás: Una alternativa ecológica para la producción de energía. Ideas CONCYTEG 7(85): 881-894.
- Hernández, Martha. 2009. Biodigestores. Acceso: Agosto 2016.
- Hidritec. 2011. Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO. Acceso: Noviembre 2016.
- Hollingdale, A. Recent advances in Biomass Energy Technology in Europe and applications for SE Asia. Acceso: Agosto 2016.
- Huerga, Ignacio, Mariano Butti, y Leonardo Venturelli. 2014. Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad. Santa Fe: Ediciones INTA. Argentina.
- Huerga, Ignacio, Butti Mariano e Intaschi Daniel. 2016. Generación de biogás: Experiencia del tambo La Natividad Coronel Dorrego, Buenos Aires. Energías renovables para la agricultura familiar. Buenos Aires: Ediciones INTA. Argentina.
- Ingeniería de tratamiento de aguas residuales. Caracterización de aguas residuales por DBO y DQO. Acceso: Octubre 2016.
- Jiménez, Luis. 2005. Dossier: estrés por calor en vacas de leche.
- Leiva, Javier. 2004. Planta de obtención de bioetanol, estudio técnico-económico y estudio de impacto ambiental.

- Lenntech VB. 2014. Propiedades químicas del Hierro-Efectos del Hierro sobre la salud-Efectos ambientales del Hierro. Acceso: Octubre 2016.
- Mago, María, José Sosa, Blanca Flores, y Luis Tovar. 2014. Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor. Revista Ingeniería UC 21(2). Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Machorro, Juan, y Edy Méndez. 2011. Manual técnico: la experiencia de construcción y uso de biodigestores para producción energética en Copan y Lempira.
- Mamani, Gladys, Francisco Mamani, Humberto Sainz, y René Villca. 2012. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia spp.*) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. Journal of the Selva Andina Research Society 3(1).
- Martí, Jaime. 2008. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación, biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, vale y altiplano. Programa de desarrollo agropecuario. Bolivia.
- Martí, N. 2006. Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. Florida: Boca Raton.
- Ministerio de energía y minas. 2010.
- Mobrotto, Massimo. 2016. Cómo se instala un grupo electrógeno.
- Monar, Ulises. 2009. Diseño de un biodigestor para una finca del recinto San Luis de las Mercedes del Cantón Las Naves - Provincia de Bolívar. Pre-tesis, Escuela superior politécnica del Litora, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción. Ecuador.
- Montalvo, Silvio, y Lorna Guerrero. 2003. Tratamiento anaeróbico de residuos. Valparaíso. Editor: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Mora, Andrea, Karina Gómez, Paola Mendieta, y René Ramos. 2012. Biodigestor tipo hindú.
- Nobre, Luis, y Estanislau Luczynsk. 2002. “Abordagem qualitativa da insercao do biogás X diésel para o meio rural”. Scielo Proceeding.
- Oficina de estudios y políticas agrarias-ODEPA. 2009. Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros”. Ingeniería Alemana S.A. Chile.
- Olmedo, Fernando. 2010. Biogás natural: el biocombustible removable y sostenible. Acceso: Noviembre 2016.
- Oyarzún, Patricio, Fernando Arancibia, y Germán Aroca. 2012? Tratamiento de aire contaminado con H₂S utilizando un biofiltro de turba inoculado con *Thiobacillus thioparus*. Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

- Parada, Juan. 2014. Homogenización (igualación). Acceso: Octubre 2016.
- Pastor, Rosario. 2005. Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú.
- Patiño, Wilfredo. 2008. Estudio de viabilidad para el aprovechamiento del biogás producido en el sitio de disposición final de Navarro, bajo los mecanismos establecidos en el protocolo de Kioto 2008. Tesis, Universidad Santiago de Cali – Escuela de Ingeniería ambiental. Colombia.
- Polanco, F, M. Polando, y P. García. 2012. Criterios para la selección de tecnología de digestión anaerobia de residuos sólidos. Universidad de Valladolid, Departamento de Ingeniería Química. España.
- Portal de energías renovables. 2013. Acceso: Junio 2016.
- Portal de energías renovables. 2014. La generación de biogás en explotaciones ganaderas. Agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos. Acceso: Setiembre 2016.
- Proyecto energías renovables no convencionales (MINERGÍA/GIZ). 2012. Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile. Acceso: Octubre 2016.
- Rivera Diesel. Mitsubishi G S6R2-PTK. Acceso: Octubre 2016.
- Rocha, Julio, y Gutavo Gimenez. 2008. Sistemas protectivos en ganadería general: sombras para tambos y crianzas diversas para la región central de Santa Fe. Sitio argentino de producción animal: 5-6.
- Salazar, José. 2008. La electricidad en Venezuela. Universidad de Oriente – Departamento de humanidades y ciencias sociales. Venezuela.
- Samaloa, Svetlana, Carlos Bueso, y Joaquín Víquez. 2012. Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecopempresas. Programa Regional de Medio Ambiente en Centro América (PREMACA). Componente 4b-Honduras. Honduras.
- Sant’Anna, Aline, Mathues Paranhos, y Adriana Postos. 2013. Manual de las buenas prácticas de manejo – confort en vacas en época de lactancia. Acceso: Agosto 2016.
- Sattler. 2014. Gasómetro de doble membrana. Acceso: Agosto 2016.
- Siemons, R. 2002. A development perspective for biomass – fuelled electricity generations technologies. Economic technology assessment in view of sustainable.
- Sistema Biobolsa. 2013. Manual de biol.
- Sistema nacional de información ambiental. 2013.
- Sistema nacional de información ambiental. Bonos de carbono.

- Sitio Solar: La generación de biogás en las explotaciones ganaderas. 2013.
- Toala, Edwin. 2013. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado en el rancho Verónica. Pre-tesis, Escuela superior politécnica de Chimborazo – Facultad de ciencias, escuela de ciencias químicas. Ecuador.
- Trillo, Yolanda. 2013. La importancia de una correcta ventilación del establo en el bienestar del ganado vacuno.
- Trillo, Yolanda. 2014. Cómo mejorar la comodidad de las vacas en la explotación (I).
- Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2015. Componentes de un biodigestor.
- Varnero, María. 2011. Manual del biogás. Chile: Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables.
- Varnero, María, Margarita Carú, Karina Galleguillos, y Patricio Achondo. 2012. “Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica”. Información tecnológica 23(2):31-40.
- Vera, Iván, José Martínez, Melitón Estrada, y Agustina Ortiz. 2013. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. Ingeniería, Investigación y Tecnología: 15 (3).
- Village energy. 2011. Digestión anaeróbica. Acceso: Agosto 2016.
- Villanueva, Juan, Hugo Nájera, José Gómez, Geraldine Hernández, y Alexis Velazco. 2011. Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. Lacandonia 5(2).
- Vostermans Ventilation (2013). Ventilador para ganado lechero Multifan.
- Zahlten. 2015. Technologies for economic development. Acceso: noviembre 2016.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Imagen de la ubicación de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque



Imagen 01: Plano en CAD de la ubicación de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

Fuente: BiblioCAD

ANEXO 2: Imagen del ganado lechero en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque



Imagen 02: Área de estancia del ganado vacuno dentro de la Asociación de ganaderos de Lambayeque

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 3: Imagen del ganado vacuno en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque



Imagen 03: Actividad de ordeño de vacas lecheras en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 4: Tabla de la producción de estiércol en Asociación de Ganaderos de Lambayeque 2012-2017

Año	Mes	Total ganado	Disponibilidad estiércol diaria (kg)	Disponibilidad de estiércol mes (kg)
2012	Enero	339	15 255	472 905
	Febrero	341	15 345	445 005
	Marzo	330	14 850	460 350
	Abril	345	15 525	465 750
	Mayo	337	15 165	470 115
	Junio	342	15 390	461 700
	Julio	330	14 850	460 350
	Agosto	343	15 435	478 485
	Septiembre	342	15 390	461 700
	Octubre	335	15 075	467 325
	Noviembre	337	15 165	454 950
	Diciembre	336	15 120	468 720
2013	Enero	339	15 255	472 905
	Febrero	329	14 805	414 540
	Marzo	333	14 985	464 535
	Abril	345	15 525	465 750
	Mayo	344	15 480	479 880
	Junio	344	15 480	464 400
	Julio	340	15 300	474 300
	Agosto	326	14 670	454 770
	Septiembre	335	15 075	452 250
	Octubre	339	15 255	472 905
	Noviembre	339	15 255	457 650
	Diciembre	337	15 165	470 115
2014	Enero	335	15 075	467 325
	Febrero	344	15 480	433 440
	Marzo	327	14 715	456 165
	Abril	330	14 850	445 500
	Mayo	332	14 940	463 140
	Junio	330	14 850	445 500
	Julio	342	15 390	477 090
	Agosto	338	15 210	471 510
	Septiembre	340	15 300	459 000
	Octubre	336	15 120	468 720
	Noviembre	344	15 480	464 400
	Diciembre	331	14 895	461 745

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 4: Tabla de la producción de estiércol en Asociación de Ganaderos de Lambayeque 2012-2017 (continuación)

Año	Mes	Total ganado	Disponibilidad estiércol diaria (kg)	Disponibilidad estiércol mes (kg)
2015	Enero	338	15 210	471 510
	Febrero	329	14 805	414 540
	Marzo	330	14 850	460 350
	Abril	331	14 895	446 850
	Mayo	342	15 390	477 090
	Junio	335	15 075	452 250
	Julio	340	15 300	474 300
	Agosto	328	14 760	457 560
	Septiembre	338	15 210	456 300
	Octubre	327	14 715	456 165
	Noviembre	339	15 255	457 650
	Diciembre	343	15 435	478 485
2016	Enero	338	14 534	450 554
	Febrero	329	14 147	410 263
	Marzo	330	14 190	439 890
	Abril	331	14 233	426 990
	Mayo	342	14 706	455 886
	Junio	335	14 405	432 150
	Julio	340	14 620	453 220
	Agosto	328	14 104	437 224
	Septiembre	338	14 534	436 020
	Octubre	327	14 061	435 891
	Noviembre	339	14 577	437 310
	Diciembre	343	14 749	457 219
2017	Enero	338	14 534	450 554
	Febrero	329	14 147	396 116
	Marzo	330	14 190	439 890
	Abril	331	14 233	426 990
	Mayo	342	14 706	455 886
	Junio	335	14 405	432 150
	Julio	340	14 620	453 220
	Agosto	328	14 104	437 224
	Septiembre	338	14 534	436 020
	Octubre	327	14 061	435 891
	Noviembre	339	14 577	437 310
	Diciembre	343	14 749	457 219

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 5: Tabla de proyección de producción de estiércol 2018-2022

Año	Mes	Total ganado	Disponibilidad estiércol diaria (kg)	Disponibilidad de estiércol mensual (kg)
2018	Enero	339	14 577	451 887
	Febrero	341	14 642	424 604
	Marzo	333	14 324	444 056
	Abril	340	14 616	438 479
	Mayo	339	14 559	451 314
	Junio	341	14 674	440 225
	Julio	334	14 353	444 941
	Agosto	339	14 571	451 696
	Septiembre	342	14 692	440 763
	Octubre	338	14 530	450 444
	Noviembre	337	14 483	434 483
	Diciembre	336	14 429	447 290
2019	Enero	337	14 503	449 602
	Febrero	331	14 236	398 622
	Marzo	330	14 210	440 501
	Abril	340	14 611	438320
	Mayo	345	14 835	459 884
	Junio	347	14 936	448 091
	Julio	345	14 822	459 482
	Agosto	332	14 263	442 147
	Septiembre	331	14 212	426 368
	Octubre	334	14 364	445 289
	Noviembre	337	14 493	434 800
	Diciembre	338	14 514	449 944
2020	Enero	336	14 454	448 090
	Febrero	342	14 702	426 371
	Marzo	333	14 301	443 318
	Abril	329	14 136	424 095
	Mayo	329	14 132	438 102
	Junio	328	14 101	423 050
	Julio	337	14 495	449 358
	Agosto	340	14 616	453 094
	Septiembre	342	14 720	441 606
	Octubre	340	14 618	453 167
	Noviembre	344	14 783	443 483
	Diciembre	336	14 448	447 890

ANEXO 5: Tabla de proyección de producción de estiércol 2018-2022 (Continuación)

Año	Mes	Total ganado	Disponibilidad estiércol diaria (kg)	Disponibilidad de estiércol mensual (kg)
2021	Enero	336	14 453	448 033
	Febrero	330	14 185	397 182
	Marzo	327	14 074	436 294
	Abril	327	14 080	422 392
	Mayo	337	14 476	448 745
	Junio	337	14 505	435 163
	Julio	341	14 656	454 351
	Agosto	333	14 336	444 412
	Septiembre	336	14 440	433 203
	Octubre	329	14 161	438 989
	Noviembre	334	14 383	431 501
	Diciembre	341	14 672	454 832
2022	Enero	337	14 485	449 033
	Febrero	339	14 575	422 668
	Marzo	335	14 399	446 354
	Abril	337	14 511	435 317
	Mayo	338	14 550	451 045
	Junio	341	14 658	439 752
	Julio	337	14 477	448 747
	Agosto	338	14 517	450 030
	Septiembre	341	14 642	439 265
	Octubre	339	14 596	452 474
	Noviembre	338	14 521	435 620
	Diciembre	336	14 433	447 425

ANEXO 6: Fórmulas del Método de Suavización Exponencial Doble o Método de Holt

➤ Pronóstico del periodo t .

$$Y_t = L_t + T_t$$

➤ La serie suavizada exponencialmente (primera suavización).

$$L_t = \alpha(Y_{t-1}) + [(1 - \alpha)(Y_{t-1} + T_t)]$$

➤ El estimado de la tendencia.

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + [(1 - \beta)(T_{t-1})]$$

Y_t	Pronóstico del periodo t
Y_{t-1}	Pronóstico del periodo $t-1$
L_t	Suavización exponencial del periodo t
L_{t-1}	Suavización exponencial del periodo $t-1$
T_t	Tendencia del periodo t
T_{t-1}	Tendencia del periodo $t-1$
A	Coefficiente de suavización (entre 0,0 y 1,0)
B	Coefficiente de suavización para la tendencia (entre 0,0 y 1,0)

ANEXO 7: Resultados de Error en el pronóstico realizado

DAM (Desviación absoluta media)	EMC (error medio cuadrado)	PEMA (porcentaje de error medio absoluto)	PME (porcentaje medio de error)
2,68	10,11	0,01	0,00

ANEXO 8: Imagen de la muestra que se realizó con agua de bebederos y estiércol de ganado vacuno proveniente de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque



Imagen 04. Mezcla de estiércol y agua

ANEXO 9: Imagen de los bebederos dentro del área de estancia del ganado en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque



Imagen 05. Pozos en las parcelas de la Asociación de Ganaderos de Lambayeque
Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 10: Caja de tecnopor otorgada por CERPER para almacenar muestra de agua y estiércol



Imagen 06. Caja de tecnopor para almacenar muestra

ANEXO 11: Botellas de plástico para muestras otorgadas por CERPER



Imagen 07. Botellas de plástico para muestras

ANEXO 12: Mezcla en botellas y puesta en caja



Imagen 08. Botellas con la mezcla

ANEXO 13: Certificado CERPER S.A.; empresa que realizó los análisis físico-químicos de la muestra



CERPER
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA.
CON REGISTRO N° LE 003



INACAL
I.A. - Perú
Laboratorio de Pruebas
Acreditado

Registro N° 1.1 - 003

INFORME DE ENSAYO N° 3-22563/16

Pág. 1/1

Solicitante	DELGADO RAMOS, NATALI MARIEL
Domicilio Legal	Calle Mariscal Sucre N° 211 - Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque
Producto Declarado	AGUA RESIDUAL
Cantidad de muestra para ensayo	01 muestra x 2,0 L. Muestra proporcionada por el Solicitante.
Forma de presentación	En frascos de plástico, cerrados, preservados y refrigerados.
Identificación de la muestra	AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA FECHA Y HORA DE MUESTREO: 23-10-16 12:00
Fecha de recepción	2016 - 10 - 24
Fecha de inicio del ensayo	2016 - 10 - 24
Fecha de término del ensayo	2016 - 10 - 29
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental
Identificada con	HIS 18016799 (EXMA-21871-2016)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayos	Resultados
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /L)	
S.D. 10,0 mg O ₂ /L	12.290
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	
S.D. 2,80 mg/L	11.700

LD: Límite de detección

Métodos:
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 8220 D, 22 ed Ed. 2012 Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colometric method.
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5219 B, 22 ed Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 Day (BOD) Test.

OBSERVACIONES

Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 02 de Noviembre de 2016.
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. SUSANA PALOMINO LOO
C.A.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS


CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 607, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
Info @ cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Cercro Chivú, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Argemiro E. Ax. Panamericana
Nro. 0 Mc-A Lote - 02 - Piura
T. (073) 322 908 / 8675-83181

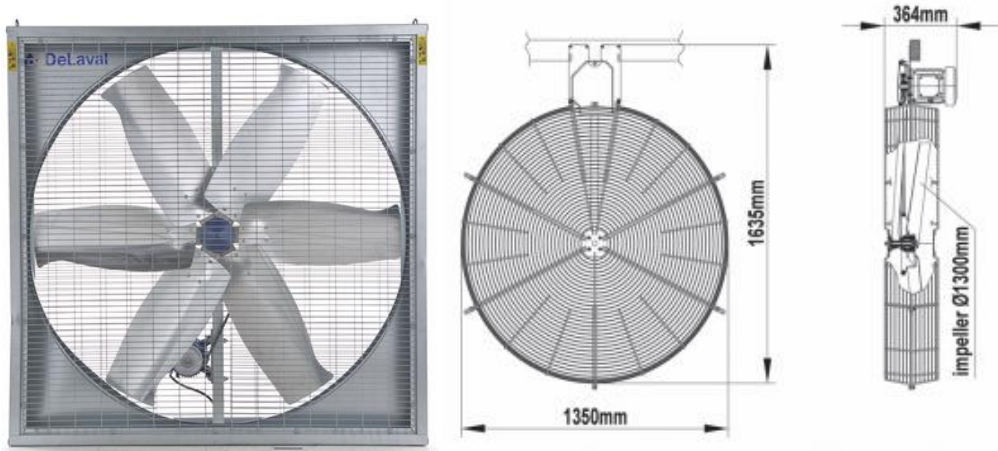
EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

ANEXO 14: Ficha técnica ventilador JFD-N Aonoudi

VENTILADOR JFD-N AONOUDI	
	
Diámetro de aspa	710 mm
Velocidad del ventilador	560 r/min
Velocidad de motor	≥ 1400 r/min
Volumen de aire	18 000 m ³ /h
Ruido	≤ 70 dB
Potencia	370 W
Voltaje	380 V
Altura	800 mm
Ancho	800 mm
Espesor	500 mm


Fuente: ATW Adversiting.

ANEXO 15: Ficha técnica ventilador DeLaval

VENTILADOR DE LAVAL DF500	
	
Diámetro de las hélices	1 300 mm
Voltaje / Frecuencia	400 V / 50 Hz
Amperaje	2,8 A
Potencia consumida	1,3 kWh
Tipo de motor	IP 55
Nivel de ruido	67 dB (A)
Velocidad	550 RPM
Capacidad a 0 Pa	48 500 m ³ /h
Peso	45 kg

Fuente: DeLaval.

ANEXO 16: Ficha técnica Ventilador Multifan

VENTILADOR MULTIFAN	
	
Dimensiones	295 x 295 x 210 mm
Amperaje	1,54 A
Potencia consumida	3,4 kW
Caudal	48,4 m ³ /h
Nivel de ruido	67 dB
Peso	52 kg
Velocidad	450 RPM

Fuente: Vostermans Ventilation (2013).


ANEXO 17: Tabla de la matriz de enfrentamiento para la selección del biodigestor

FACTORES	MP	IA	VU	MO	RA	CO	R	CI	CONTEO	PESO RELATIVO
Tipo de materia prima	X	0	0	0	1	0	1	0	2	6,90%
Impacto ambiental	1	X	0	0	1	0	0	0	2	6,90%
Vida útil	1	1	X	0	1	0	1	1	5	17,24%
Mantenimiento y operación	1	1	1	X	1	0	0	0	4	13,79%
Requerimiento de área	0	1	0	0	X	0	0	0	1	3,45%
Construcción	1	1	1	1	1	X	0	0	5	17,24%
Rendimiento	0	1	0	1	1	1	X	0	4	13,79%
Costos de implementación	1	1	0	1	1	1	1	X	6	20,70%
									29	100,00%

ANEXO 18: Tabla de la matriz de enfrentamiento para la selección de grupo electrógeno

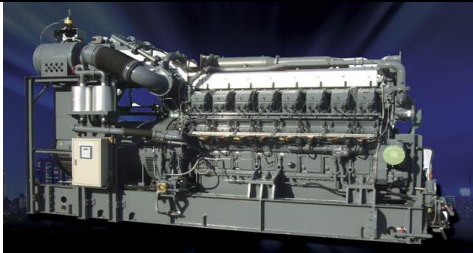
FACTORES	PR	AR	FM	VU	PO	CONTEO	PESO RELATIVO
Precio	X	0	1	0	0	1	11,1
Accesibilidad de repuestos	1	X	0	0	0	1	11,1
Fácil mantenimiento	0	1	X	1	1	3	33,3
Vida útil	1	0	0	X	1	2	22,2
Potencia (kW)	1	1	0	0	X	2	22,2
						9	100,0

ANEXO 19: Ficha técnica del generador de energía CATERPILLAR G3306

CATERPILLAR G3306	
	
Datos Técnicos	
Potencia	143 kw
Tipo de combustible	Gas natural, biogás, propano
Máxima eficiencia eléctrica	62,6%
Máxima clasificación de respaldo	160
Velocidad	1 500 o 1 800 RPM
Frecuencia	50 o 60 Hz
Modelo del motor	G3306
Calibre	121 mm
Cilindrada	10,5 litros
Nivel de ruido	94 db
Peso	1 995 kg
Dimensión total	3 200 x 1 329 x 1 729 mm
Precio	\$ 15 000


Fuente: CATERPILLAR.

ANEXO 20: Ficha técnica del generador de energía MITSUBISHI G S6R2-PTK

MITSUBISHI G S6R2-PTK	
	
Datos Técnicos	
Potencia	305 kW
Velocidad	1 800 RPM
Voltaje clasificado	380 v
Tipo de salida	CA Trifásica
Frecuencia	50 Hz
Potencia del motor	13 HP
Nivel de Ruido	94 db
Peso	2 470 kg
Precio	\$ 12 120

Fuente: Rivera Diesel.

ANEXO 21: Ficha técnica del generador de energía CATERPILLAR G3508

CATERPILLAR G3508	
	
Datos Técnicos	
Potencia	485 kW
Tipo de combustible	Gas natural, biogás
Eficiencia eléctrica	37,3%
Velocidad	1 200 - 1 500 RPM
Voltaje clasificado	230 v – 400 v
Tipo de salida	CA Trifásica
Frecuencia	50 o 60 Hz
Potencia del motor	15 HP
Método de enfriamiento	Refrigeración por agua
Nivel de Ruido	70 db
Peso	1 200 kg
Precio	\$10 000

Fuente: CATERPILLAR.

ANEXO 22: Cálculo de masa (kg) del Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Fórmula de los Gases Ideales:

$$P*V=n*R*T$$

Donde:

P= Presión (atm)

V= Volumen (m³)

n= número de moles ($\frac{\text{masa en kg}}{\text{masa atómica}}$)

R= Constante universal de los gases

T= Temperatura (grados kelvin)


Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

$$1 \text{ atm} * (0,46 \text{ m}^3) = \frac{m}{18 \text{ k}} * 0,082 \frac{\text{atm m}^3}{\text{mol K}} * 298 \text{ K}$$

Masa =0,34 kg de H₂S

ANEXO 23: Ficha técnica del tanque de homogenización

Tanque de homogenización	
Material	Acero inoxidable
Capacidad	8 m ³
Dimensiones	Dimensión (D x h) : 1,16 m x 1,5 m Altura total : 2,85 m Diámetro de entrada y salida: 0,5 m Capa de preservación del calor : 0,06 m



Fuente: Alibaba, global tarde starts here.

ANEXO 24: Tabla de la temperatura máxima y mínima en Lambayeque los meses de Enero y Febrero

Mes/día	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Mes/día	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)
01 – Enero	21	28	01 - Febrero	23	29
02 – Enero	21	28	02 – Febrero	24	29
03 – Enero	22	28	03 – Febrero	23	30
04 – Enero	23	30	04 – Febrero	22	31
05 – Enero	23	31	05 – Febrero	23	31
06 – Enero	22	28	06 – Febrero	23	29
07 – Enero	22	29	07 – Febrero	22	31
08 – Enero	23	29	08 – Febrero	23	31
09 – Enero	22	30	09 – Febrero	23	30
10 – Enero	23	30	10 – Febrero	23	28
11 – Enero	22	30	11 – Febrero	22	30
12 – Enero	23	31	12 – Febrero	22	31
13 – Enero	22	29	13 – Febrero	22	31
14 – Enero	22	30	14 – Febrero	25	30
15 – Enero	21	30	15 – Febrero	22	30
16 – Enero	22	28	16 – Febrero	23	31
17 – Enero	22	28	17 – Febrero	23	32
18 – Enero	22	29	18 – Febrero	24	31
19 – Enero	22	30	19 – Febrero	25	32
20 – Enero	23	30	20 – Febrero	23	30
21 – Enero	22	30	21 – Febrero	24	33
22 – Enero	22	30	22 – Febrero	24	31
23 – Enero	22	28	23 – Febrero	24	33
24 – Enero	22	30	24 – Febrero	23	34
25 – Enero	23	30	25 – Febrero	24	31
26 – Enero	23	31	26 – Febrero	25	30
27 – Enero	21	29	27 – Febrero	24	33
28 – Enero	23	28	28 – Febrero	25	33
29 – Enero	22	28	29 - Febrero	23	31
30 – Enero	23	27			
31 – Enero	23	31			

Fuente: Accuweather (2016).

ANEXO 25: Cálculo tiempo de retención

Extra-polación:

$30^{\circ}\text{C} \rightarrow 15 \text{ días}$

$28^{\circ}\text{C} \rightarrow "x" \text{ días}$

$20^{\circ}\text{C} \rightarrow 25 \text{ días}$

$$\frac{30^{\circ}\text{C}-28^{\circ}\text{C}}{30^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}} = \frac{15-x}{15-25} \quad \rightarrow \quad \frac{^{\circ}\text{C}}{10^{\circ}\text{C}} = \frac{15-x}{-10} \quad \rightarrow \quad -20 = 150 - 10x$$

Entonces son 17 días el tiempo de retención.

ANEXO 26: Tabla salarial con beneficios sociales – Régimen de Construcción civil 2018-2019

TABLA SALARIAL CON BENEFICIOS SOCIALES					
REGIMEN DE CONSTRUCCION CIVIL					
<i>(Del 01.06.2018 al 31.05.2019)</i>					
OPERARIO					
Jornal Basico	67.20	*	6	días	403.20
Descanso Semanal Obligatorio	11.20	*	6	días	67.20
BUC 32 %	21.50	*	6	días	129.02
Bonificación Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	10.08	*	6	días	60.48
Vacaciones 10%	6.72	*	6	días	40.32
Gratificación F. Patrias	12.80	*	7	días	89.60
B. Extraordinaria Ley 29351	1.15	*	7	días	8.06
Total Bruto Salarios					841.09
Descuento SNP 13%					83.17
Descuento CONAFOVICER 2%					9.41
Pago Neto Semanal					748.51
OFICIAL					
Jornal	53.70	*	6	días	322.20
Descanso Semanal Obligatorio	8.95	*	6	días	53.70
BUC 30 %	16.11	*	6	días	96.66
Bonificación Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	8.06	*	6	días	48.33
Vacaciones 10%	5.37	*	6	días	32.22
Gratificación F. Patrias	10.23	*	7	días	71.60
B. Extraordinaria Ley 29351	0.92	*	7	días	6.44
Total Bruto Salarios					674.35
Descuento SNP 13%					65.62
Descuento CONAFOVICER 2%					7.52
Pago Neto Semanal					601.21
PEON					
Jornal	48.10	*	6	días	288.60
Descanso Semanal Obligatorio	8.02	*	6	días	48.10
BUC 30 %	14.43	*	6	días	86.58
Bonif. Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	7.22	*	6	días	43.29
Vacaciones 10%	4.81	*	6	días	28.86
Gratificación F. Patrias	9.16	*	7	días	64.13
B. Extraordinaria Ley 29351	0.82	*	7	días	5.77
Total Bruto Salarios					608.54
Descuento SNP 13%					58.78
Descuento CONAFOVICER 2%					6.73
Pago Neto Semanal					543.02

Fuente: Comité Nacional de Administración del Fondo para la Construcción de Viviendas y Centros Recreativos para los Trabajadores en Construcción Civil del Perú – CONAFOVICER (2015).

ANEXO 27: Tabla de salarios – Operarios especializados 2018-2019

TABLA SALARIAL CON BENEFICIOS SOCIALES REGIMEN DE CONSTRUCCION CIVIL (Del 01.05.2018 al 31.05.2019)					
OPERARIO (Operador de Equipo Mediano)					
Jornal Basico (*)	67.20	*	6	días	403.20
Descanso Semanal Obligatorio	11.20	*	6	días	67.20
BUC 32 %	21.50	*	6	días	129.02
Bonif. Por Alta Esp. (BAE) 8%	5.38	*	6	días	32.26
Bonificación Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	10.08	*	6	días	60.48
Vacaciones 10%	6.72	*	6	días	40.32
Gratificación F. Patrias	12.80	*	7	días	89.60
B. Extraordinaria Ley 30334	1.15	*	7	días	8.06
Total Bruto Salarios					873.34
Descuento SNP 13%					87.36
Descuento CONAFOVICER 2%					9.41
Pago Neto Semanal					776.58
OPERARIO (Operador de Equipo Pesado)					
Jornal Basico (*)	67.20	*	6	días	403.20
Descanso Semanal Obligatorio	11.20	*	6	días	67.20
BUC 32 %	21.50	*	6	días	129.02
Bonif. Por Alta Esp. (BAE) 10%	6.72	*	6	días	40.32
Bonificación Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	10.08	*	6	días	60.48
Vacaciones 10%	6.72	*	6	días	40.32
Gratificación F. Patrias	12.80	*	7	días	89.60
B. Extraordinaria Ley 30334	1.15	*	7	días	8.06
Total Bruto Salarios					881.41
Descuento SNP 13%					88.41
Descuento CONAFOVICER 2%					9.41
Pago Neto Semanal					783.59
OPERARIO (Electromecánico)					
Jornal Basico (*)	67.20	*	6	días	403.20
Descanso Semanal Obligatorio	11.20	*	6	días	67.20
BUC 32 %	21.50	*	6	días	129.02
Bonif. Por Alta Esp. (BAE) 15%	10.08	*	6	días	60.48
Bonif. Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	10.08	*	6	días	60.48
Vacaciones 10%	6.72	*	6	días	40.32
Gratificación F. Patrias	12.80	*	7	días	89.60
B. Extraordinaria Ley 30334	1.15	*	7	días	8.06
Total Bruto Salarios					901.57
Descuento SNP 13%					91.03
Descuento CONAFOVICER 2%					9.41
Pago Neto Semanal					801.13
OPERARIO (Topógrafo)					
Jornal Basico (*)	67.20	*	6	días	403.20
Descanso Semanal Obligatorio	11.20	*	6	días	67.20
BUC 32 %	21.50	*	6	días	129.02
Bonif. Por Alta Esp. (BAE) 9%	6.05	*	6	días	36.29
Bonif. Por Movilidad	7.20	*	6	días	43.20
Indemnización 15%	10.08	*	6	días	60.48
Vacaciones 10%	6.72	*	6	días	40.32
Gratificación F. Patrias	12.80	*	7	días	89.60
B. Extraordinaria Ley 30334	1.15	*	7	días	8.06
Total Bruto Salarios					877.38
Descuento SNP 13%					87.88
Descuento CONAFOVICER 2%					9.41
Pago Neto Semanal					780.08

Fuente: Comité Nacional de Administración del Fondo para la Construcción de Viviendas y Centros Recreacionales para los Trabajadores en Construcción Civil del Perú – CONAFOVICER (2015).

ANEXO 28: Tabla de la producción de leche años 2012-2017 en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque

AÑO	MES	N° VACAS	LITROS DIA	LITROS MES	VENTAS (S/.)
2012	Enero	251	4 267	132 277	119 049
	Febrero	260	4 420	128 180	115 362
	Marzo	279	4 743	147 033	132 330
	Abril	272	4 624	138 720	124 848
	Mayo	268	4 556	141 236	127 112
	Junio	279	5 859	175 770	158 193
	Julio	250	5 250	162 750	146 475
	Agosto	267	5 607	173 817	156 435
	Septiembre	280	5 880	176 400	158 760
	Octubre	270	5 670	175 770	158 193
	Noviembre	280	5 880	176 400	158 760
	Diciembre	260	4 940	153 140	137 826
2013	Enero	273	4 641	143 871	129 484
	Febrero	256	4 352	121 856	109 670
	Marzo	252	4 284	132 804	119 524
	Abril	271	4 607	138 210	124 389
	Mayo	259	4 403	136 493	122 844
	Junio	272	5 712	171 360	154 224
	Julio	271	5 691	176 421	158 779
	Agosto	272	5 712	177 072	159 365
	Septiembre	250	5 250	157 500	141 750
	Octubre	275	5 775	179 025	161 123
	Noviembre	251	5 271	158 130	142 317
	Diciembre	253	4 807	149 017	134 115
2014	Enero	263	4 471	138 601	124 741
	Febrero	272	4 624	129 472	116 525
	Marzo	255	4 335	134 385	120 947
	Abril	257	4 369	131 070	117 963
	Mayo	269	4 573	141 763	127 587
	Junio	264	5 544	166 320	149 688
	Julio	254	5 334	165 354	148 819
	Agosto	254	5 334	165 354	148 819
	Septiembre	257	5 397	161 910	145 719
	Octubre	277	5 817	180 327	162 294
	Noviembre	273	5 733	171 990	154 791
	Diciembre	251	4 769	147 839	133 055

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 28: Tabla de la producción de leche años 2012-2017 en la Asociación de Ganaderos de Lambayeque (Continuación)

AÑO	MES	#VACAS	LITROS DIA	LITROS MES	VENTAS (S/.)
2015	Enero	260	4 420	137 020	123 318
	Febrero	251	4 267	119 476	107 528
	Marzo	256	4 352	134 912	121 421
	Abril	268	4 556	136 680	123 012
	Mayo	261	4 437	137 547	123 792
	Junio	275	5 775	173 250	155 925
	Julio	269	5 649	175 119	157 607
	Agosto	252	5 292	164 052	147 647
	Septiembre	273	5 733	171 990	154 791
	Octubre	278	5 838	180 978	162 880
	Noviembre	267	5 607	168 210	151 389
	Diciembre	264	5 016	155 496	139 946
2016	Enero	265	4 505	139 655	125 690
	Febrero	266	4 522	131 138	118 024
	Marzo	268	4 556	141 236	127 112
	Abril	255	4 335	130 050	117 045
	Mayo	261	4 437	137 547	123 792
	Junio	267	5 607	168 210	151 389
	Julio	267	5 607	173 817	156 435
	Agosto	260	5 460	169 260	152 334
	Septiembre	254	5 334	160 020	144 018
	Octubre	256	5 376	166 656	149 990
	Noviembre	259	5 439	163 170	146 853
	Diciembre	269	5 111	158 441	142 597
2017	Enero	260	4 415	136 876	123 189
	Febrero	259	4 409	123 445	111 101
	Marzo	259	4 402	136 467	122 820
	Abril	259	4 396	131 867	118 680
	Mayo	258	4 389	136 058	122 452
	Junio	258	5 414	162 406	146 165
	Julio	257	5 405	167 566	150 810
	Agosto	257	5 397	167 314	150 582
	Septiembre	257	5 389	161 672	145 505
	Octubre	256	5 381	166 809	150 128
	Noviembre	256	5 373	161 183	145 065
	Diciembre	255	4 854	150 465	135 418

Fuente: Asociación de Ganaderos de Lambayeque.

ANEXO 29: Tabla de la proyección de cantidad de vacas y litros producidos antes de implementación de sistema de ventilación (18 litros) 2018– 2022

Año	Mes	Vacas	litros diarios	litros mensual	VENTAS 1 litro: S/0.90
2018	Enero	291	5 238	162 378	146 140
	Febrero	276	4 968	144 072	129 665
	Marzo	291	5 238	162 378	146 140
	Abril	289	5 202	156 060	140 454
	Mayo	287	5 166	160 146	144 131
	Junio	280	5 040	151 200	136 080
	Julio	253	4 554	141 174	127 057
	Agosto	293	5 274	163 494	147 145
	Septiembre	266	4 788	143 640	129 276
	Octubre	248	4 464	138 384	124 546
	Noviembre	259	4 662	139 860	125 874
	Diciembre	243	4 374	135 594	122 035
2019	Enero	255	4 590	142 290	128 061
	Febrero	270	4 860	136 080	122 472
	Marzo	289	5 202	161 262	145 136
	Abril	287	5 166	154 980	139 482
	Mayo	242	4 356	135 036	121 532
	Junio	258	4 644	139 320	125 388
	Julio	287	5 166	160 146	144 131
	Agosto	260	4 680	145 080	130 572
	Septiembre	244	4 392	131 760	118 584
	Octubre	277	4 986	154 566	139 109
	Noviembre	253	4 554	136 620	122 958
	Diciembre	282	5 076	157 356	141 620
2020	Enero	246	4 428	137 268	123 541
	Febrero	262	4 716	132 048	118 843
	Marzo	247	4 446	137 826	124 043
	Abril	269	4 842	145 260	130 734
	Mayo	268	4 824	149 544	134 590
	Junio	243	4 374	131 220	118 098
	Julio	291	5 238	162 378	146 140
	Agosto	291	5 238	162 378	146 140
	Septiembre	287	5 166	154 980	139 482
	Octubre	281	5 058	156 798	141 118
	Noviembre	249	4 482	134 460	121 014
	Diciembre	280	5 040	156 240	140 616

ANEXO 29: Tabla de la proyección de cantidad de vacas y litros producidos antes de implementación de sistema de ventilación (18 litros) 2018– 2022 (Continuación)

Año	Mes	Vacas	litros diarios	litros mensual	VENTAS 1 litro: S/.0.90
2021	Enero	292	5 256	162 936	146 642
	Febrero	281	5 058	141 624	127 462
	Marzo	280	5 040	156 240	140 616
	Abril	265	4 770	143 100	128 790
	Mayo	274	4 932	152 892	137 603
	Junio	255	4 590	137 700	123 930
	Julio	271	4 878	151 218	136 096
	Agosto	282	5 076	157 356	141 620
	Septiembre	250	4 500	135 000	121 500
	Octubre	254	4 572	141 732	127 559
	Noviembre	242	4 356	130 680	117 612
	Diciembre	248	4 464	138 384	124 546
2022	Enero	288	5 184	160 704	144 634
	Febrero	263	4 734	137 286	123 557
	Marzo	257	4 626	143 406	129 065
	Abril	263	4 734	142 020	127 818
	Mayo	253	4 554	141 174	127 057
	Junio	252	4 536	136 080	122 472
	Julio	266	4 788	148 428	133 585
	Agosto	274	4 932	152 892	137 603
	Septiembre	292	5 256	157 680	141 912
	Octubre	264	4 752	147 312	132 581
	Noviembre	287	5 166	154 980	139 482
	Diciembre	255	4 590	142 290	128 061

ANEXO 30: Tabla de la proyección de la producción de leche adicional (7 litros más) 2018 – 2022

Año	Mes	Vacas	litros diarios	Litros al mes	Ventas 1 litro: S/.0.90
2018	Enero	291	2 037	63 147	56 832
	Febrero	276	1 932	56 028	50 425
	Marzo	291	2 037	63 147	56 832
	Abril	289	2 023	60 690	54 621
	Mayo	287	2 009	62 279	56 051
	Junio	280	1 960	58 800	52 920
	Julio	253	1 771	54 901	49 411
	Agosto	293	2 051	63 581	57 223
	Septiembre	266	1 862	55 860	50 274
	Octubre	248	1 736	53 816	48 434
	Noviembre	259	1 813	54 390	48 951
	Diciembre	243	1 701	52 731	47 458
2019	Enero	255	1 785	55 335	49 802
	Febrero	270	1 890	52 920	47 628
	Marzo	289	2 023	62 713	56 442
	Abril	287	2 009	60 270	54 243
	Mayo	242	1 694	52 514	47 263
	Junio	258	1 806	54 180	48 762
	Julio	287	2 009	62 279	56 051
	Agosto	260	1 820	56 420	50 778
	Septiembre	244	1 708	51 240	46 116
	Octubre	277	1 939	60 109	54 098
	Noviembre	253	1 771	53 130	47 817
	Diciembre	282	1 974	61 194	55 075
2020	Enero	246	1 722	53 382	48 044
	Febrero	262	1 834	51 352	46 217
	Marzo	247	1 729	53 599	48 239
	Abril	269	1 883	56 490	50 841
	Mayo	268	1 876	58 156	52 340
	Junio	243	1 701	51 030	45 927
	Julio	291	2 037	63 147	56 832
	Agosto	291	2 037	63 147	56 832
	Septiembre	287	2 009	60 270	54 243
	Octubre	281	1 967	60 977	54 879
	Noviembre	249	1 743	52 290	47 061
	Diciembre	280	1 960	60 760	54 684

**ANEXO 30: Tabla de la proyección de la producción de leche adicional (7 litros más) 2018
– 2022 (continuación)**

Año	Mes	Vacas	litros diarios	Litros al mes	Ventas 1 litro: S/0.90
2021	Enero	292	2 044	63 364	57 028
	Febrero	281	1 967	55 076	49 568
	Marzo	280	1 960	60 760	54 684
	Abril	265	1 855	55 650	50 085
	Mayo	274	1 918	59 458	53 512
	Junio	255	1 785	53 550	48 195
	Julio	271	1 897	58 807	52 926
	Agosto	282	1 974	61 194	55 075
	Septiembre	250	1 750	52 500	47 250
	Octubre	254	1 778	55 118	49 606
	Noviembre	242	1 694	50 820	45 738
	Diciembre	248	1 736	53 816	48 434
2022	Enero	288	2 016	62 496	56 246
	Febrero	263	1 841	53 389	48 050
	Marzo	257	1 799	55 769	50 192
	Abril	263	1 841	55 230	49 707
	Mayo	253	1 771	54 901	49 411
	Junio	252	1 764	52 920	47 628
	Julio	266	1 862	57 722	51 950
	Agosto	274	1 918	59 458	53 512
	Septiembre	292	2 044	61 320	55 188
	Octubre	264	1 848	57 288	51 559
	Noviembre	287	2 009	60 270	54 243
	Diciembre	255	1 785	55 335	49 802