

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL  
PECUARIA EN EL CAMPUS DE LA UNALM”**

Presentada por:

**ISABEL ANA MARÍA IMAN TORRES**

Trabajo Académico para Optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGA**

Lima – Perú

**2021**

---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación**

**(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL  
PECUARIA EN EL CAMPUS DE LA UNALM”**

Presentada por:

**ISABEL ANA MARÍA IMAN TORRES**

Trabajo Académico para Optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGA**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Ph.D. José Luis Calle Maravi  
PRESIDENTE

---

Dr. Víctor Meza Contreras  
MIEMBRO

---

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua  
MIEMBRO

---

Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral  
ASESORA

## **DEDICATORIA**

*A mi hijo Adrián, como en todos mis logros, en este también has estado presente. Que mi ejemplo te ayude a forjar cambios en el mundo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a mi padre y a mi madre, Ana y Fausto, por su apoyo incondicional, sin ellos no habría sido posible. Así mismo, a todos los docentes que cultivaron en mí el gusto por aprender y que me han formado a nivel intelectual y humanístico. Agradezco especialmente a mi asesora Mary Flor Cesare Coral, por brindarme su tiempo, motivación, consejos y por acogerme en los laboratorios de Calidad Total de la UNALM. A los miembros de mi jurado; el Dr. Luis Calle Maravi, Dr. Victor Meza Contreras y al Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua, por todo su tiempo, las sugerencias y consejos brindados.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Definiciones .....	6
2.1.1 Biomasa.....	6
2.1.2 Residuos sólidos.....	7
2.1.3 Residuos sólidos orgánicos .....	8
2.2 Caracterización de la biomasa residual.....	8
2.2.1 Contenido energético.....	8
2.2.2 Variables físicas .....	9
2.2.3 Variables químicas .....	9
2.3 Tratamiento de residuos.....	9
2.3.1 Gestión del estiércol de gallinas ponedoras .....	9
2.3.2 Gestión de los residuos de actividades de crianza y faenamiento de animales mayores de abasto.....	10
2.4 Uso energético de la biomasa residual.....	11
2.4.1 Termoquímicos.....	11
2.4.2 Químicas.....	13
2.4.3 Bioquímicas.....	13
2.5 Productos de la digestión anaeróbica.....	16
2.5.1 Bioabono .....	16
2.5.2 Biogás.....	16
2.6 Proceso del biogás .....	17
2.6.1 Materia prima .....	18
2.6.2 Alimentación y tipos de pre-tratamiento.....	19
2.6.3 Post-tratamiento .....	20
2.6.4 Tipos de digestores anaeróbicos.....	21
2.6.5 Generación teórica de biogás .....	22
2.7 Residuos sólidos en la UNALM .....	24
2.8 Residuos pecuarios en la UNALM .....	26

2.8.1 Población animal en la UNALM.....	26
2.8.2 Generación de estiércol en la UNALM.....	26
2.8.3 Caracterización de estiércoles .....	27
2.8.4 Generación teórica de estiércol. ....	28
2.9 Marco legal .....	30
2.9.1 Marco legal promotor de recursos energéticos renovables en el ámbito nacional .....	31
2.9.2 Marco legal de manejo de residuos en el ámbito nacional.....	32
2.10 Antecedentes de consumo de energía en la UNALM.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Lugar y periodo de estudio .....	35
3.2 Fuente de información .....	35
3.3 Etapas de la investigación.....	35
3.3.1 Recopilación de información de la generación de biomasa residual pecuaria .....	35
3.3.2 Muestreo y caracterización de la biomasa residual pecuaria .....	35
3.3.3 Estimación del potencial energético de la biomasa residual en el sector pecuario.....	36
3.3.4 Alternativas de aprovechamiento energético de la biomasa residual.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	39
4.1 Generación de biomasa residual por área y año.....	39
4.2 Caracterización de la biomasa residual.....	42
4.3 Potencial energético .....	45
4.4 Análisis de alternativas de aprovechamiento energético .....	49
4.4.1 Evaluación de criterios para el aprovechamiento energético.....	49
4.4.2 Análisis económico del aprovechamiento energético como biogás .....	51
a) Modelo Canvas.....	53
b) Uso energético .....	55
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RECOMENDACIONES .....	58
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	59
VIII. ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones para la producción de biogás referente al estiércol de gallina.....	10
Tabla 2: Características de las etapas del proceso de digestión anaerobias .....	15
Tabla 3: Características generales del biogás .....	17
Tabla 4: Clasificación de sustratos para la digestión anaeróbica .....	19
Tabla 5: Comparación entre distintas tecnologías de pre-tratamiento industrial .....	20
Tabla 6: Generación de biogás para diferentes especies .....	24
Tabla 7: Clasificación de los residuos sólidos promedio según tipo por año en cada zona del campus universitario .....	25
Tabla 8: Población animal periodo 2007 – 2010.....	26
Tabla 9: Generación total y máxima de estiércol .....	27
Tabla 11: Resultados de caracterización de guano de cerdos de la granja de cerdos de la UNALM. ....	28
Tabla 12: Generación de estiércol en diferentes especies .....	29
Tabla 13: Población animal periodo 2008 – 2018.....	40
Tabla 14: Generación promedio y mínima de residuos por especie en un periodo de 10 años .....	41
Tabla 15: Caracterización de los residuos pecuarios.....	44
Tabla 16: Potencial energético teórico en función a biogás producido estequiométricamente.....	45
Tabla 17: Potencial energético según producción de Bo (m <sup>3</sup> /SV) .....	46
Tabla 18: Resumen de evaluación de criterios .....	51
Tabla 19. Modelo Canvas.....	54
Tabla 20: Consumo de las subestaciones #9 y # 4 .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de tratamientos para procesamiento de biomasa.....	12
Figura 2: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia .....	14
Figura 3: Consumo de energía anual en la UNALM en el periodo 2009-2018.....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Reporte de análisis de caracterización .....	70
Anexo 2: Consumo de energía en el periodo 2018.....	73
Anexo 3: Consumo de energía por subestaciones .....	74
Anexo 4: Consumo detallado de energía por subestaciones.....	75
Anexo 5: Recibo de consumo de energía eléctrica (ABR 2019) en la UNALM.....	77
Anexo 6: Generación de residuos pecuarios por áreas .....	78
Anexo 7 .....	79

## RESUMEN

Se realizó un estudio dentro del campus UNALM para determinar la producción de biomasa residual pecuaria y su potencial de uso energético para abastecer alguna demanda energética de manera eficiente. Se obtuvo una producción promedio de 7397 kg/día de residuos pecuarios de aves, vacunos, ovinos, porcinos, equinos y animales menores en un periodo de 10 años, los cuales al ser convertidos en biogás tienen un potencial energético de 745 Mwh/año. Este potencial energético representa el 17.35 por ciento del consumo energético que tuvo la UNALM en el año 2018, el cual equivale a s/. 311 891.28. Por lo tanto, la biometanización de los residuos biodegradables del campus UNALM podría convertirse en una alternativa eficaz en la gestión tradicional de los residuos, capaz de generar energía renovable como el biogás; reducir el volumen y peso de los residuos que van a los rellenos sanitarios y disminuir la emisión de metano a la atmósfera.

**Palabras clave:** Biomasa, biogás, sólidos volátiles, alternativas energéticas, energía.

## ABSTRACT

A study was carried out within the UNALM campus to determine the production of livestock residual biomass and its potential for energy use to supply some energy demand efficiently. An average production of 7397 kg / day of livestock waste from birds, cattle, sheep, pigs, horses and small animals was obtained in a period of 10 years, which when converted into biogas have an potential energy of 745 Mwh / year. This potential energy represents 17.35 percent of the energy consumption that UNALM had in 2018, which is equivalent to s / . 311 891.28. Therefore, the biomethanization of biodegradable waste from the UNALM campus could become an effective alternative in traditional waste management, capable of generating renewable energy such as biogas; reduce the volume and weight of waste going to landfills and reduce the emission of methane.

**Keywords:** Biomass, biogas, volatile solids, energetic alternatives, energy.

## I. INTRODUCCIÓN

En la última década, el Sector energético peruano ha registrado un crecimiento importante, la producción de electricidad se incrementó en 92% y la de hidrocarburos en 260% en el periodo entre 2003 y 2013. Esto es debido al incremento de la demanda interna producto del desarrollo económico, en dicho periodo el PBI se incrementó en 86%, y con ello se dio el mayor crecimiento de la actividad económica y de la demanda de energía de las últimas décadas, en base a la creciente inversión privada en infraestructura, así como por la inversión social desarrollada por el Estado (MINEM, 2014). En el próximo periodo del 2014 - 2025, a pesar de la aplicación de medidas de uso eficiente de la energía, se espera que el consumo final de energía continúe creciendo en función al desarrollo de la economía interna, aumento de la población urbana y ampliación de cobertura energética. Sin embargo, la dependencia a los combustibles fósiles seguirá siendo determinante, y la contribución de los hidrocarburos líquidos y gaseosos en la matriz energética alcanzará el 76% (MINEM, 2014). En la actualidad el Perú depende de un 70% de fuentes de energía no renovables, siendo el 50% petróleo extranjero (Cesare, 2014), la oferta interna de energía primaria, está conformada por un 85% comercial (compuesta por un 20% gas natural, 47% petróleo, 3% carbón mineral, y 15% por hidroenergía) y un 15% considerada como no comercial conformada por leña, bagazo, bosta, y yareta, la cual es consumida por la población de más bajos recursos.

Dentro del Perú, la generación eléctrica se ha encontrado históricamente concentrada en fuentes hídricas convencionales. En el año 2000, representaba el 87% del total de energía producida en el territorio peruano, mientras que en 2013 fue de 54%. A pesar de que este tipo de centrales genera un volumen de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ínfimamente pequeño en el proceso de operación, durante las fases de construcción puede provocar algunos efectos adversos sobre el ambiente (OSINERGMIN, 2017). Por lo tanto, al impulsar la explotación de las fuentes de recursos de energía renovable no convencional (RER), como la biomasa y biogás, las fuentes solares, eólicas y mini hidráulicas, en la generación eléctrica

se genera un impacto ambiental positivo al mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Un objetivo del Perú sería tener, hacia el 2040, una matriz energética diversificada, competitiva, con énfasis en las fuentes de RER (al menos del 20%) y que fomente la eficiencia energética (OSINERGMIN, 2017). En este contexto, el estado peruano ha estado brindando un impulso importante a las fuentes RER que utilizan el flujo inagotable de fuentes naturales de energía (sol, viento, agua, crecimiento de las plantas, movimiento del mar, entre otras) para abastecer la creciente demanda energética. En 2008, mediante el Decreto Legislativo N° 1002, Ley de Promoción de la Inversión en Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables, se estableció la promoción de este tipo de fuentes de energía para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el ambiente.

La presente política energética del Perú busca reducir el uso de fuentes energéticas provenientes de los hidrocarburos, dado su alta inestabilidad en los precios y sus altos índices de contaminación; e incorporar fuentes renovables de energía, con la finalidad de evitar la escasez de combustibles y conseguir una población participativa y ambientalmente responsable, por lo que el fomento de los biocombustibles se ha convertido en una de las más importantes respuestas de políticas ante la dependencia de las fuentes fósiles (Salas *et al.*, 2008).

La importancia de la biomasa como fuente de energía en la actualidad no admite discusión. Desde el punto de vista social y económico, el uso de la biomasa contribuye a la diversificación energética, a la reducción de la dependencia de fuentes externas de energía pues permite la producción de energía a partir de recursos autóctonos y renovables. El aprovechamiento de la biomasa residual, además de otras ventajas económicas y ambientales, ofrece una serie de ventajas especialmente importantes para el entorno rural, la generación de riqueza y empleo, relacionadas directamente con el aumento del desarrollo industrial y económico de la localidad.

El Perú posee muchos y diversos recursos energéticos, tanto renovables como no renovables. Las reservas de fuentes no renovables, brindan el abastecimiento para la generación de electricidad y la demanda que tiene el parque automotor. El gas natural ha cubierto parte del déficit que tiene la producción de petróleo crudo, y sus derivados han desplazado la generación térmica con petróleo diésel e incursionando progresivamente en los sectores industrial, comercial, transportes y residencial (Fundación Friedrich Ebert, 2013).

Por otro lado, el acelerado crecimiento de la ciudad y que la matriz energética dependa del petróleo tanto nacional como extranjero, será insostenible en el tiempo por lo cual, y en el marco del crecimiento económico hacia el desarrollo sostenible, es necesario tener un suministro energético que sea seguro y accesible para todos los sectores económicos y sociales del país que respetan el medio ambiente. En este escenario, nuestra sociedad debe plantear de manera planificada y sustentada, cuál será la mejor estrategia para abastecer la demanda energética que está en constante crecimiento. Dentro de este contexto las energías renovables, y dentro de ellas la bioenergía, va a desempeñar un papel muy importante, pues los recursos energéticos renovables son una alternativa fiable y competitiva debido a que son una fuente autóctona y que reducen la dependencia energética, además de promover el desarrollo local y el cuidado del medio ambiente.

El Perú debe diversificar su matriz energética para enfrentar los efectos adversos del cambio climático y la dependencia de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles (Cesaré, 2014). La mayor demanda de energía limpia podría generar oportunidades para las economías emergentes como el Perú, ya que permitiría diversificar sus fuentes energéticas y sostener su oferta de energía a largo plazo. Además, beneficiará a la sociedad con mayor crecimiento económico (el sector energético crece en línea con el crecimiento del PBI), equidad (beneficia a toda la sociedad) y desarrollo (mejora la vida de las personas que requieren acceso al suministro energético de manera asequible) (Vásquez *et al.*, 2016).

La biomasa ha sido usada como fuente de energía renovable desde mucho antes de que se conocieran las energías no renovables, la mayor parte se usa en países en desarrollo en forma de leña o carbón para calefacción y cocina. A pesar de la poca contribución de la bioenergía moderna a la demanda energética mundial, la biomasa tiene, a largo plazo el potencial de contribuir al suministro energético mundial de manera mucho más significativa (Thomas *et al.*, 2013). Por otro lado, el desarrollo del mercado de biocombustibles en estos años ha dependido de las buenas condiciones de precios internacionales y de las políticas implementadas, por lo tanto, el país debería realizar mayores investigaciones respecto a la productividad y sostenibilidad del mercado de los biocombustibles, los efectos de la política de mezclas obligatorias y de los beneficios de acceso y tributarios a nivel macro y micro (Vásquez *et al.*, 2016).

El biogás puede ser producido donde sea sin importar si la planta industrial se localiza en una zona urbana o rural, por lo cual la energía eléctrica y el calor pueden ser producidos

donde se necesite. El uso de bacterias para producir combustible de alta calidad es una gran ventaja económica tanto para países industrializados como para países emergentes. El bioabono generado como residuo, es una fuente importante de nitrógeno, que además es fácilmente asimilable para las plantas pues el proceso de fermentación anaeróbica enriquece el contenido de nitrógeno en el bioabono desde 0.5% hasta 2.5% (Arzate, 2015).

Con respecto al potencial de la biomasa para uso en bioenergía, en el Perú existe la posibilidad de instalar centrales eléctricas convencionales de biomasa con una capacidad de 177 MW y centrales de biogás con una capacidad de 51 MW (Mendoza, 2012). Echeandía (2014) indica que el potencial de generación eléctrica mediante la biomasa, recurso renovable no convencional, es de 450 MW y la potencia utilizada es de 27 MW (Osinermin, 2017). Asimismo, la Fundación Friedrich Ebert (2010) menciona que la generación de energía mediante biomasa tiene más posibilidades de utilizarse en zonas donde no hay otros recursos renovables. Existen tres zonas en donde la biomasa representa un importante potencial de uso: la costa norte (bagazo de caña, cascarilla de arroz, residuos hidrobiológicos), la selva alta (cascarilla de café, residuos forestales) y la selva baja (residuos forestales) (Green Energy, 2005; citado en Fundación Friedrich Ebert, 2010). Este potencial, se refiere en su mayoría a su utilización mediante procesos termoquímicos, y las investigaciones existentes sobre su utilización a través de procesos bioquímicos son principalmente para la industria de un proceso productivo industrial particular y no a nivel macro sobre el potencial real que existe en una localidad.

Resulta evidente entonces la importancia de la biomasa como recurso generador de energía, pues se generan grandes cantidades de subproductos de biomasa derivadas del uso y mantenimiento de la actividad humana. El aprovechamiento de los subproductos con escaso o nulo valor económico (residuos) depende fuertemente de la facilidad de recolección, por lo cual el análisis de su dispersión es de mucha importancia para valorar su uso. El aprovechamiento de la biomasa residual es de interés tanto para los trabajadores, como para la Universidad. En el marco del compromiso de Ecoeficiencia suscrito por la UNALM desde el 2017 por a la iniciativa EcoIP del MINAM y los objetivos de Sostenibilidad ambiental, es importante tener en cuenta los múltiples usos técnicos de la biomasa como fuente de energía, ya sea biomasa para producción de calor, o biodigestores para producción de biocombustibles.

Los múltiples beneficios del aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos, exige una evaluación cuidadosa debido a la enorme variedad de recursos que se incluyen dentro del término “biomasa”. Las características particulares de cada uno de ellos, las condiciones locales de donde se encuentran, y las muy variadas tecnologías de aprovechamiento de los mismos, hacen que el punto de partida para desarrollar un sistema de gestión de la biomasa que permita analizar la viabilidad de su aprovechamiento se centre en evaluar las cantidades y calidades de biomasa con las que se pretende realizar las futuras investigaciones.

El objetivo general del presente trabajo es determinar la producción de biomasa residual pecuaria en el campus de la UNALM y su potencial energético para abastecer parcialmente la demanda energética de manera eficiente. Mientras que los objetivos específicos son: Estimar la cantidad de biomasa residual pecuaria, por áreas generadoras, en kilogramos de residuos producidos por año, realizar una caracterización de la biomasa residual pecuaria de cada área, determinar el potencial energético por especie animal y total, así como el consumo energético de la UNALM y, por último, evaluar la mejor alternativa de aprovechamiento energético de la biomasa residual pecuaria.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA Y MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definiciones

#### 2.1.1 Biomasa

La Real Academia Española define a la biomasa como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. La palabra biomasa es un término compuesto etimológicamente por el prefijo “bio” (del griego *bios*, vida) y “masa” (del latín *massa*, masa, bulto o volumen), es decir, hace referencia a “masa biológica” (Nogues y García, 2010). Es producida por organismos vivos, principalmente a través de la actividad fotosintética de las plantas, pero también es producida por animales, insectos y microorganismos y está compuesta esencialmente de polímeros complejos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre en baja proporción y de elementos inorgánicos (Damien, 2010). El Ministerio de Energía y Minas del Perú en el Balance Nacional de Energía del año 2014, define la biomasa como “materia orgánica no fósil de origen biológico que puede ser utilizada con fines energéticos para la producción de calor y algunas veces también de electricidad”.

Por otro lado, es importante tener en cuenta la definición de algunos términos propios del estudio de la biomasa. Los siguientes términos han sido definidos por la FAO (2008)

- Biodegradable: capaz de sufrir una descomposición por acción biológica, anaeróbica o aeróbica.
- Bioenergía: Todos los tipos de energía derivados de los biocombustibles, comprendida la dendroenergía y la agroenergía.
- Biocombustible: Todo combustible –sólido, líquido o gaseoso– producido a partir de la biomasa.
- Residuo: es aquella que comprende todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal y después de las operaciones o procesos productivos.

- Subproducto: Producto intermedio de alguna actividad de procesamiento.
- Diferentes autores han usado múltiples criterios, consideraciones y nomenclatura para completar una clasificación de los diferentes tipos de biomasa existentes. Se mencionarán algunas clasificaciones a continuación:
  - a. Por la fuente de obtención de la biomasa (Nogues y García, 2010 y Basu 2013).
    - Biomasa natural o nativa (madera de bosques, pastos, peces, algas, etc.)
    - Biomasa cultivada (plantaciones forestales, cultivos agrícolas, productos de acuicultura). Se denominan también agro combustibles
    - Biomasa residual (residuos forestales de monte, de industria; residuos agrícolas, residuos agroindustriales; residuos pecuarios, residuos sólidos urbanos, residuos cloacales o de saneamiento.
  - b. De acuerdo al sector en el que la actividad humana obtiene la biomasa (Nogues y García, 2010 y Basu, 2013)
    - Biomasa agrícola
    - Biomasa pecuaria
    - Biomasa Urbana
    - Biomasa forestal
    - Biomasa industrial

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se aplicará una clasificación combinada de la biomasa, es decir, una forma de biomasa que se obtiene de fuentes secundarias, residuales obtenida de la actividad pecuaria, que no compite con la seguridad alimentaria al ser no comestibles, de estado sólido principalmente. Se utilizará el término biomasa residual pecuaria.

### **2.1.2 Residuos sólidos**

La Ley de gestión integral de residuos sólidos N°1278 (2016) define a los residuos sólidos como “cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final.”

### **2.1.3 Residuos sólidos orgánicos**

Se refiere a los residuos biodegradables o sujetos a descomposición. Pueden generarse tanto en el ámbito de gestión municipal como en el ámbito de gestión no municipal (Ley N°1278 MINAM, 2016). Están compuestos típicamente por materiales como residuos de comida, papeles, cartones, cueros, textiles, residuos de jardinería, etc. Aporta microorganismos que ayudan en los fenómenos de descomposición de la materia orgánica. (Guccione, 2009).

## **2.2 Caracterización de la biomasa residual**

Conocer la composición de un residuo es importante al momento de seleccionar una tecnología para su aprovechamiento energético, la biomasa es un material formado principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno; estos compuestos son los que reaccionan exotérmicamente cuando el residuo cede energía. La caracterización de la biomasa involucra conocer los siguientes parámetros:

### **2.2.1 Contenido energético**

Especifica la cantidad de energía que puede contener un material, es decir, el calor que puede generar la utilización de un combustible, se denomina potencia calorífica o poder calórico al calor por unidad de masa (Moreno *et al.*, 2014).

El potencial energético de la biomasa se obtendrá a partir de la relación que existe entre la masa de residuo seco (Mrs) y la energía del residuo por unidad de masa, también conocida como Poder Calorífico Inferior (PCI). En la ecuación 1 se expresa la relación existente entre las variables y es la ecuación general para el cálculo del potencial energético de la biomasa (Serrato y Lesmes, 2016).

$$\mathbf{PE = (Mrs) * (PCI) \dots\dots(1)}$$

Donde:

PE: Potencial energético [kWh/año]

Mrs: Masa de residuo seco [kWh/año]

PCI: Energía del residuo por unidad de masa seca [kWh/kg]

### **2.2.2 Variables físicas**

Como variables físicas de la biomasa, se debe evaluar su densidad aparente, la densidad real, la humedad y los sólidos totales. Debido a que el poder calórico de la biomasa varía de acuerdo con el contenido de humedad, para el caso de la biomasa, si el contenido es mayor al 30 por ciento, es necesario el uso de digestores anaerobios o procesos bioquímicos.

### **2.2.3 Variables químicas**

El análisis último o elemental: Reporta el porcentaje en peso de oxígeno (O<sub>2</sub>), carbono (C), hidrógeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N). El análisis próximo: Contempla evaluar el contenido de carbono fijo, el material volátil y las cenizas. Por último, el análisis estructural: Cuantificar el contenido de lignina, de celulosa y de hemicelulosa.

## **2.3 Tratamiento de residuos**

El artículo 61 del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DS N° 014-2017-MINAM) establece que los residuos sólidos no municipales podrán recibir tratamiento previo al proceso de valorización o disposición final, según corresponda. Este tratamiento será realizado mediante los procesos establecidos en el artículo 62: solidificación, neutralización, estabilización, incineración, pirólisis, pretratamiento para posterior valorización energética, y otras operaciones y normas específicas que aprueben las autoridades competentes. Queda prohibida la quema de residuos en general.

Según el Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos del sector Agrario (DS N° 016-2012-AG), los residuos orgánicos que se generen tanto en las actividades agropecuarias y agroindustriales de competencia del sector agricultura, deben de recibir tratamiento con la finalidad de reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contienen, recuperar materia o sustancias valorizables, facilitar su uso como fuente de energía, favorecer la disposición del rechazo y en general, mejorar la gestión de valorización (Artículo 22).

### **2.3.1 Gestión del estiércol de gallinas ponedoras**

Según el Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos del Sector Agrario (DS N° 016-2012-AG) las deyecciones de aves de corral (gallinazas) junto con el material usado en la cama, pueden ser incorporados al suelo previo tratamiento para estabilizarla, mejorando su calidad como abono, y si es posible, fijar el nitrógeno amoniacal. El artículo 28.2 del mencionado reglamento, menciona que la mejor opción de tratamiento para la gallinaza es el compostaje, pero que además, la gallinaza puede utilizarse como materia prima para la producción de

biogás y de biofertilizantes, basadas en un proceso de descomposición anaeróbica. Asimismo, el manejo y almacenaje de la gallinaza debe realizarse bajo el concepto de buenas prácticas agrarias, con la finalidad de reciclar los nutrientes de las deyecciones y evitar la contaminación de las aguas. En la tabla 1 se muestran algunas condiciones para la producción de biogás referente al estiércol de gallina.

**Tabla 1:** Condiciones para la producción de biogás referente al estiércol de gallina

Materia seca 25%	Lo que obliga a añadir agua o mezclarla con otros co-productos líquidos.
pH 7.7	
N total = 14.5 g/kg	Muy elevado
N amoniacal=3-11 g/kg	Muy elevado lo que obliga a añadir agua o mezclarla con otros co-productos
C/N=8	Muy baja, lo que obliga a mezclarla con co-productos ricos carbono

**FUENTE:** Abaigar *et al.*, 2010 citado por Castillo y Delacroix, 2012.

### **2.3.2 Gestión de los residuos de actividades de crianza y faenamiento de animales mayores de abasto**

Las pautas para la gestión de los residuos de establecimientos de crianza de animales mayores (bovinos, porcinos, ovinos, camélidos sudamericanos domésticos, caprinos y equinos) se encuentran establecidas en el artículo 29° del Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos del Sector Agrario (DS N° 016-2012-AG), en el cual se dispone que “Las deyecciones animales con restos de cama, alimentos y agua en cantidades variables, que resultan del sistema productivo de los animales y que presentan consistencia fluida, con un contenido aproximado de sólidos menor al 12% pueden ser reaprovechados en los cultivos agrícolas como abono órgano mineral, para lo cual deberán disponer de balsas de estiércol, cercadas e impermeabilizadas, natural o artificialmente, que eviten el riesgo de infiltración y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, asegurando que se impidan pérdidas o rebosamiento por inestabilidad geotécnica, con el tamaño preciso para poder almacenar la producción de al menos tres meses, que permitan la gestión adecuada de los mismos. El tratamiento de la deyección de los animales, pueden darse mediante compostaje, secado artificial y otros, con la finalidad de transformarse en un producto orgánico estable, con características óptimas para su utilización en cultivos agrícolas. Asimismo, estos

residuos pueden ser aprovechados energéticamente, mediante técnicas de fermentación anaerobia, para la producción y el aprovechamiento de biogás. Otros sistemas de tratamiento susceptibles son la incorporación de aditivos, separación sólidos líquidos y nitrificación-desnitrificación. En el caso del manejo de animales muertos y sus desechos, las granjas tecnificadas y semi-tecnificadas, deberán contar con silos o instalaciones adecuadas, para disponer de los animales muertos, fetos, placentas u otros, a fin de minimizar el riesgo sanitario, pudiendo también ser tratados mediante un proceso de cremación controlado.” (El Peruano, 2012).

## **2.4 Uso energético de la biomasa residual**

Los procesos bioenergéticos se clasifican en tres grupos según su fuente de alimentación y su forma de obtener el recurso: los tratamientos termoquímicos, bioquímicos y químicos. En la figura 1 se muestra un esquema de los distintos tratamientos y procesos. A continuación, se explicará brevemente algunos de ellos:

### **2.4.1 Termoquímicos**

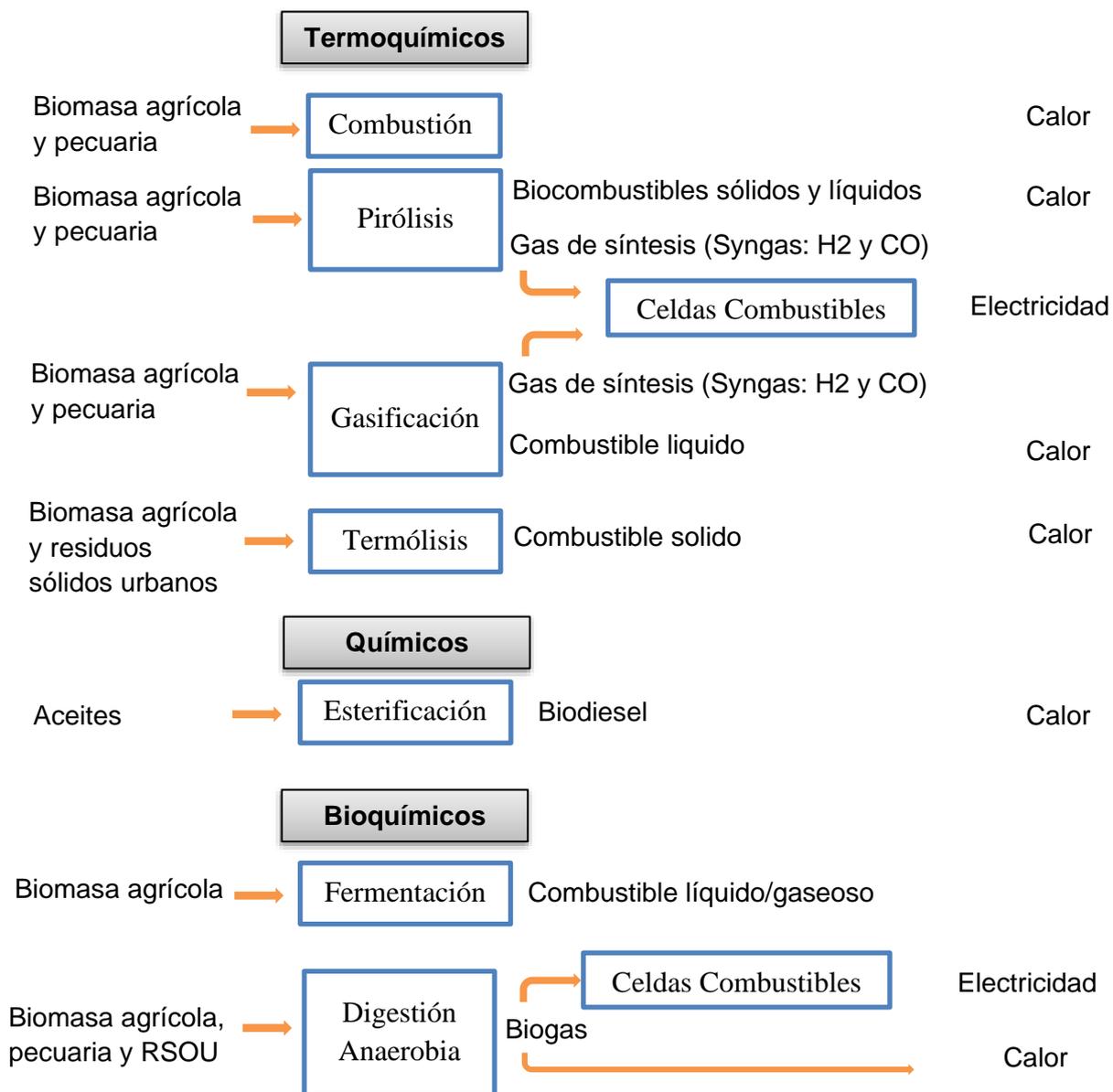
Son los procesos que utilizan calor como medio de transformación, entre ellos se encuentran:

#### **a) Combustión directa**

En este proceso se combustiona biomasa, preferentemente seca y que proviene principalmente de la industria forestal. Así se puede obtener energía eléctrica o térmica. Es el proceso más antiguo y económico de aprovechamiento energético de la biomasa, ya que requiere la fuente de biomasa y una caldera de combustión para la generación de energía (Patiño, 2014).

#### **b) Pirólisis**

La pirólisis es la carbonización de la biomasa. En este proceso, la materia orgánica es sometida a condiciones de alta temperatura (500 °C) y ausencia de oxígeno, resultando en un gas combustible compuesto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>). Este producto suele utilizarse para obtener calor o electricidad en motores, en turbinas o ciclos combinados de alta eficiencia (Patiño, 2014 y Agrowaste, sf.).



**Figura 1:** Tipos de tratamientos para procesamiento de biomasa

**FUENTE:** Adaptado de Escalante, et al., (sf.).

### c) Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (biomasa en este caso) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua). Se trata de un proceso de oxidación parcial, es decir, la cantidad empleada de oxidante es inferior a la de un proceso de combustión completa. En este caso es necesaria la escasez de oxígeno para la operación del proceso. Se obtiene un gas combustible que se utiliza para la generación de energía mecánica, eléctrica o calorífica. El gas resultante a partir de la gasificación de los residuos orgánicos está

compuesto por monóxido de carbono, hidrógeno, metano y otros gases inertes. La temperatura de operación es un factor muy importante en estos procesos. Para obtener un buen rendimiento de la mezcla gaseosa resultante (contenidos altos en hidrógeno y monóxido de carbono) es necesaria una temperatura mínima de 700 a 800°C Existen distintas tecnologías de gasificación y su aplicación depende de la materia prima a utilizar y sus características como tamaño de partículas, humedad, porcentaje de volátiles y escala del sistema (Sánchez, 2014).

#### **2.4.2 Químicas**

En esta transformación no existe intervención de microorganismos en el proceso de conversión de la biomasa. El principal ejemplo de este tipo de tratamiento es la transformación de ácidos grasos, la cual consiste en la modificación de aceites, vegetales o animales, a una mezcla de hidrocarburos mediante un proceso químico en el que reaccionan los aceites con alcohol para producir ésteres grasos como el etil o metil éster, los que pueden ser mezclados con el diésel o ser usados directamente como combustibles, siendo denominados como biodiesel (Patiño, 2014).

#### **2.4.3 Bioquímicas**

La conversión bioquímica de la biomasa es la asociada a reacciones químicas y biológicas que provienen del metabolismo de microorganismos que degradan biomasa con altos niveles de humedad, debido al ambiente acuoso que requieren sus enzimas para poder actuar. Como resultado del proceso se obtienen productos energéticos que pueden ser utilizados para la obtención de energía útil (FAO, 2011).

Los tipos de tratamientos bioquímicos para generación de energía son la fermentación alcohólica y la digestión anaeróbica, siendo esta última la encargada de la producción de biogás, por lo que será abordada con mayor profundidad en la próxima sección.

##### **a. Fermentación Alcohólica**

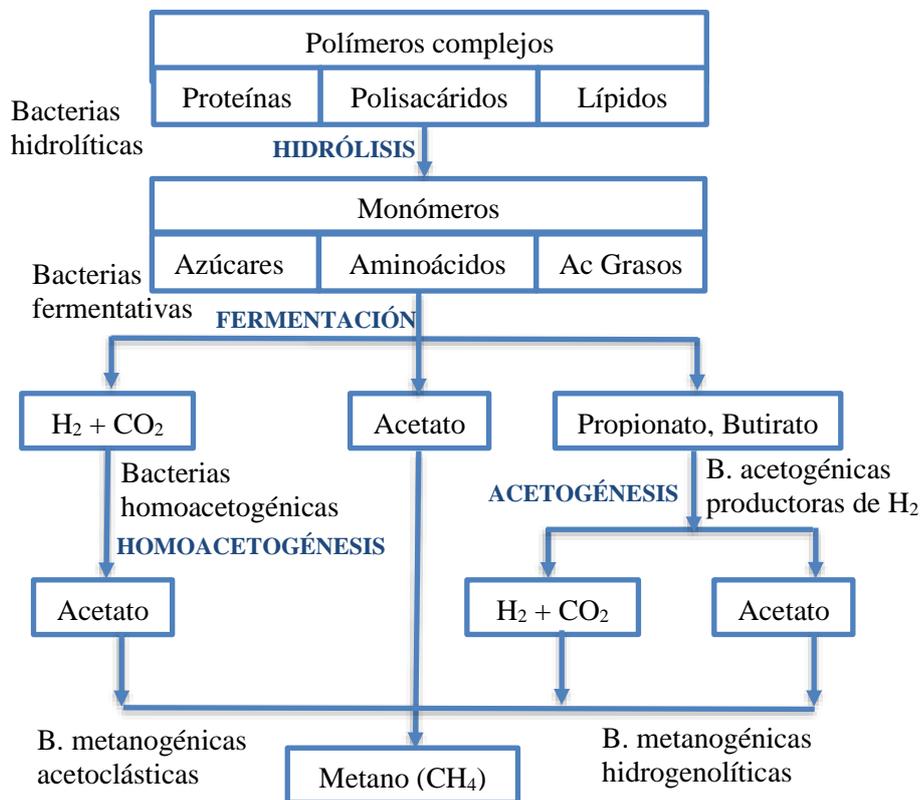
La fermentación alcohólica es un proceso en el que actúan microorganismos degradando la materia orgánica en ausencia de oxígeno como aceptor de electrones externo, en la cual se produce alcohol etílico (etanol). El etanol se puede usar como fuente de energía por si solo o se puede dar un tratamiento adicional para obtener un alcohol anhidro. El alcohol anhidro tiene un poder calorífico de 32,7 MJ/kg; el hidratado (4 % de contenido de agua por volumen) contiene 23,5 MJ/kg (Sánchez, 2014).

## b. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso complejo en donde la degradación de la materia orgánica que sucede gracias a la acción de consorcios de microorganismos que actúan sin presencia de oxígeno, en reacciones de óxido reducción. La implementación de este tratamiento permite la obtención de energía eléctrica y/o térmica gracias a la generación de gases combustibles.

La digestión anaeróbica sucede en 4 etapas principales dentro de un reactor biológico o digester: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Madigan *et al.*, 2004).

En la Figura 2 se muestra un esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.



**Figura 2:** Esquema de reacciones de la digestión anaerobia

**FUENTE:** Adaptado Madigan et al., 2004.

En la tabla 2, se muestran algunas características de las etapas del proceso de digestión anaeróbica.

**Tabla 2:** Características de las etapas del proceso de digestión anaerobias

Etapa del proceso	Características
Hidrólisis	La hidrólisis enzimática es el primer paso del proceso de descomposición anaeróbica y ocurre gracias a la acción de enzimas hidrolíticas extracelulares que hidrolizan moléculas de cadena larga como grasas, carbohidratos y proteínas para obtener ácidos grasos, azúcares simples y aminoácidos, en orden para que la siguiente etapa ocurra
Ácidogénesis	Luego de la hidrólisis enzimática los microorganismos presentes en el reactor asimilan los compuestos orgánicos formando ácidos orgánicos y gases como el dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), hidrógeno (H <sub>2</sub> ) y pequeños volúmenes de amoníaco (NH <sub>3</sub> ), ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S) y alcoholes como el glicerol.
Acetogénesis	Las bacterias acetogénicas metabolizan los ácidos orgánicos produciendo acetato e hidrógeno. La temperatura óptima de esta fase es de 30°C, donde es necesaria la mezcla y agitación para aumentar las probabilidades de contacto entre las bacterias y el sustrato.
Metanogénesis	Esta última etapa implica la producción de metano por microorganismos metanogénicos. Del metano total, aproximadamente el 70% corresponde al formado mediante el metabolismo de ácidos grasos volátiles, realizado por microorganismos acidótrofos. El 30% restante proviene del hidrógeno y del dióxido de carbono metabolizados mediante la acción de microbios hidrogenotróficos. Éstos últimos son importantes debido a que controlan la acidez del medio metabolizando los protones presentes. Esta etapa es la más lenta del proceso y la más susceptible a cambios en las condiciones del ambiente en el reactor, por lo que un aumento de la alimentación de sustrato, la temperatura o la posible entrada de oxígeno podrían causar el cese del proceso.

**FUENTE:** Adaptado de CER, 2007 y Varnero 1992.

## **2.5 Productos de la digestión anaeróbica**

Los principales productos de este tipo de tratamiento son el biogás, biol y biosol (biofertilizantes) que son utilizados como fuente de energía y como fertilizante respectivamente. Un beneficio adicional de este tipo de procesamiento es que la carga de organismos patógenos en los lodos es muy baja y la masa de lodos comparados con los de otros tratamientos tradicionales también lo es, lo que se traduce en costos operacionales bajos, ya que en muchos casos no se deben tratar estos lodos para ser usados o dispuestos (FAO, 2011).

### **2.5.1 Bioabono**

Otro producto de la digestión anaeróbica es el llamado bioabono, biofertilizantes o lodos de digestión, cuya composición depende de la tecnología que se utilice para la descomposición de la materia orgánica y de ésta misma. Se suele denominar biol a la parte líquida y biosol a la parte sólida. En el proceso de digestión la biomasa es metanogenizada, por lo que los lodos poseen menor carga orgánica que las materias primas. También, la mineralización del producto permite aumentar el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuir el orgánico. Los usos principales de los lodos provenientes de los bioreactores son el acondicionamiento de suelos, uso como fertilizante, cubierta vegetal en rellenos sanitarios o para la recuperación de suelos o sitios degradados y también en la biorremediación de éstos (FAO, 2011).

### **2.5.2 Biogás**

El biogás es una mezcla de gases que proviene de la descomposición de la materia en condiciones anaeróbicas, esta mezcla está 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. Las características generales del gas se encuentran en la Tabla 3.

El proceso de digestión anaerobia es muy complejo debido al número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, así como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. Muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea; los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases: Hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica (FAO, 2011).

En este proceso biológico complejo y degradativo, parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica (FAO, 2011).

**Tabla 3:** Características generales del biogás

Composición	55-70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h /m <sup>3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogas
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (con 6 – 12% de biogás en el aire)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg/m <sup>3</sup>
Masa molar	16.043 kg k/mol

**FUENTE:** Deublein y Steinhauer, 2008.

## 2.6 Proceso del biogás

Al ser un sistema complejo, la digestión anaeróbica debe tener las condiciones necesarias para la proliferación de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica. Los principales factores que afectan la producción de biogás son: composición y concentración del sustrato (nutrientes disponibles y su clasificación se encuentran en la tabla 4), temperatura del sistema, la velocidad de carga orgánica (VCO), tiempo de retención hidráulico (TRH), nivel de acidez (pH), relación Carbono/Nitrógeno y la presencia de compuestos inhibidores del proceso (Hilbert, 2000). Donde, el TRH es el tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica para la elaboración de biogás (FAO, 2011), mientras que la VCO es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en

el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención (FAO, 2011). El sistema de digestión debe tener un equilibrio dinámico entre bacterias metanogénicas y no metanogénicas, para lograr esto, el contenido del reactor debe estar libre de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibitorias de amoníaco libre, el pH debe estar en un rango entre 6,5 y 7,5, sin caer por debajo de 6,2 ya que las bacterias metanogénicas no pueden actuar por debajo de ese rango (Ramirez, 2016).

### **2.6.1 Materia prima**

Las materias orgánicas de origen animal, vegetal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros pueden ser utilizadas para el proceso de producción de biogás y, dependiendo de éstas, es necesaria la utilización de distintas condiciones para la digestión anaeróbica.

Las características de la materia orgánica deben permitir el desarrollo y actividad microbiana, donde no solo es necesaria una fuente de los principales nutrientes (carbono y nitrógeno), sino también de un equilibrio de sales minerales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores. En el caso de estiércoles y lodos las proporciones de nutrientes se encuentran dentro del rango deseado, sin embargo, otros sustratos como residuos con alto contenido de lignina deben ser pre-tratados para poder disponer de sus nutrientes.

Se pueden definir cuatro clases de sustratos según su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO) y su forma de procesamiento. Esta clasificación se encuentra resumida en la Tabla 4.

La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que, en términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir,  $C/N = 30/1$ , hasta 20/1 (FAO 2011).

**Tabla 4:** Clasificación de sustratos para la digestión anaeróbica

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	>20% ST 40-70% Fracción orgánica
		Estiércol Sólido	
		Restos de cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión.	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO
		Aguas negras	4-500 g/l DQO

FUENTE: Esguerra, 1989.

### 2.6.2 Alimentación y tipos de pre-tratamiento

La alimentación depende del tipo de reactor que se esté utilizando y del tipo de materia orgánica, según eso se podrían requerir estanques de premezclado o almacenamiento de la biomasa. Los sustratos sólidos pueden ser almacenados en silos y los que tienen alto contenido de agua, se pueden acumular en tanques abiertos o cerrados. El pre-tratamiento de la biomasa busca acondicionar la materia prima para obtener mejores rendimientos de transformación a biogás, es decir, facilitar la degradación de la materia prima, ya sea aumentando su superficie de contacto o degradando parcialmente la biomasa.

A menor escala, el uso de tambores de mezcla o de paletas manuales es usual sobre todo en el mezclado de la materia orgánica con agua. Para el transporte se pueden utilizar tuberías y bombas en el caso de residuos con alta humedad o de mezclas líquidas, sólidos y fibrosos sistemas de tornillo sin fin.

Las alternativas de pre-tratamiento a escala industrial pueden ser físicas, térmicas, químicas o termoquímicas. En la Tabla 5 a continuación se muestra una comparación de algunas tecnologías de pre-tratamiento industrial.

**Tabla 5:** Comparación entre distintas tecnologías de pre-tratamiento industrial

<b>Método</b>	<b>% de desintegración celular</b>	<b>Costos estimados (EUR/Ton)</b>	<b>Mayor ventaja</b>	<b>Mayor Desventaja</b>
Térmico (Cambi)	30	190	Alta eficiencia	Bajo rendimiento relativo, dependiente en el tipo de lodo
Oxidación (Bayer -RLoprox alemán)	90	800	Alta eficiencia de desintegración	Bajo pH, corrosivo y alto costo.
Molino de bolas	90	414-25.000	Alta eficiencia, uso simple	Alto gasto energético
Homogenización de alta presión	85	42 – 146	Alta eficiencia, bajos costos energéticos	Complicado
Ultrasonido	100	8.330	Desintegración completa	Alto gasto de energía
Termoquímico	15-60		Relativamente simple	Corrosión, olores y neutralización subsecuente

**FUENTE:** Carrasco, 2015.

### 2.6.3 Post-tratamiento

El post-tratamiento normalmente incluye el lavado del ácido sulfhídrico para el aprovechamiento energético, aunque esto debe ser evaluado caso a caso según la concentración del sulfuro. Si las concentraciones son elevadas, el lavado se hace necesario ya que el H<sub>2</sub>S es un compuesto tóxico para la salud y que además, puede mezclarse con el vapor de agua en el biogás y formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) el que es un compuesto muy corrosivo. Es importante recalcar que al conservar el biogás crudo y realizar su combustión, se generarán óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) los que son perjudiciales para el ambiente y cuyas emisiones están normadas por ley, por lo que se debe evitar.

#### **2.6.4 Tipos de digestores anaeróbicos**

**Flujo pistón:** Es un tanque de concreto largo y rectangular con una cubierta hermética donde el estiércol fluye por un extremo y sale por el otro. A veces el tanque tiene forma de U, con la entrada y la salida en el mismo lado. El estiércol fluido primero ingresa a un pozo de mezcla, permitiendo que los sólidos se ajusten agregando agua. Luego, a medida que se agrega el estiércol, el "tapón" del estiércol empuja lentamente el estiércol más viejo hacia el tanque. El tanque generalmente se calienta para mantener un ambiente mesofílico o termofílico, a menudo utilizando el calor recuperado del quemador de biogás. El volumen del tanque generalmente contiene 15 a 30 días de estiércol y aguas residuales, o en otras palabras, un tiempo de retención hidráulica (TRH) es de 15 a 30 días. Los digestores de flujo pistón requieren de un 11 a 13 por ciento de sólidos totales en el estiércol (USDA, 2009).

**Mezcla completa:** Tiene un tanque de acero o concreto cilíndrico sellado donde el estiércol se mantiene mecánicamente en suspensión o "mezclado" por un impulsor accionado por motor, una bomba u otros dispositivos. También se le conoce como "reactor de tanque continuamente agitado". El estiércol se calienta generalmente para mantener un ambiente mesofílico o termofílico, a menudo utilizando calor recuperado del quemador de biogás. El tanque generalmente contiene 15 a 20 días de estiércol y aguas residuales, o 15-20 días HRT. El estiércol líquido que se raspa o se lava con 3 a 10 por ciento de sólidos totales funciona mejor en este sistema (USDA, 2009).

**Laguna cubierta:** Se trata de una laguna de tierra equipada con una cubierta para contener y facilitar la recolección de biogás, es el tipo de digestor menos costoso de instalar y operar. La laguna cubierta es el sistema menos controlado, con la producción de gas más baja y el tiempo de retención más largo debido a su entorno psicrófilico. En climas fríos puede que no haya producción de gas. El olor no puede ser eliminado totalmente debido a una digestión incompleta. Ideal para sistemas de recolección de estiércol con sólidos totales de 0.5 a 3 por ciento (USDA, 2009).

**Película fija:** Se trata de un tanque de concreto o acero que se llena con un medio plástico llamado "biofilm", el cual soporta una capa delgada de bacterias anaeróbicas y mantiene una población concentrada de metanógenos mesofílicos o termofílicos, lo que permite un mayor volumen de producción de biogás y una TRH más corta (6 días) que los otros tipos de digestores. Funciona mejor con estiércol con menos de 5 por ciento de sólidos totales. Los

sólidos degradables lentamente deben separarse antes de ingresar a este tipo de digestor (USDA, 2009).

### **2.6.5 Generación teórica de biogás**

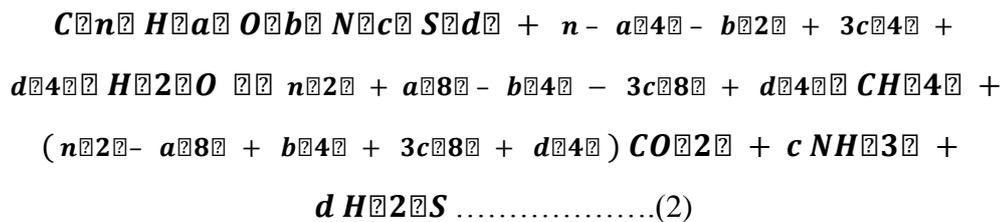
La digestión anaerobia es el proceso por el cual la materia orgánica, conformada por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, es transformada por un consorcio bacteriano en metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas amonio (NH<sub>3</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y nitrógeno (N<sub>2</sub>), principales componentes del biogás (Chen *et al.*, 2008 y Mahmood *et al.*, 2008). Además, los microorganismos metanogénicos son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales, la metanogénesis se considera un paso limitante del proceso de digestión anaeróbica. Debido a esto, la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales. Algunas de estas condiciones ambientales son: temperatura (mesofílica o termofílica), tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas.

En los últimos 20 años se ha estudiado la tecnología de digestión anaerobia, de modo que sea posible medir el efecto de un sustrato, o de la mezcla de dos o más, con respecto al rendimiento de metano. Existen softwares y modelos matemáticos que son instrumentos útiles pues ayudan en el entendimiento del sistema complejo de la digestión anaerobia y, además, sirven para facilitar la operación y el diseño de los procesos (Batstone *et al.*, 2002). Con la aplicación de modelos matemáticos, es posible definir proporciones para mezclas de diferentes sustratos a emplear en la digestión anaerobia (Esposito *et al.*, 2012 y Pagés-Díaz, J. *et al.*, 2014). Hoy en día existen investigadores que calculan a la producción del biogás teniendo en cuenta la cinética de la degradación de los sustratos (Kythreotou *et al.*, 2014). Por otra parte, existen también modelos matemáticos simples, los cuales brindan información en cuanto a la producción máxima de biogás que se produciría durante la digestión con pocas variables de entrada, los cuales utilizan principalmente la relación que existe entre sólidos volátiles y producción de biogás. El objetivo de estos modelos simples no es simular el proceso cinético de la digestión anaerobia, sino básicamente estimar que tan aplicables son los procesos a un sustrato específico y brindar la información necesaria para la toma de decisiones.

Una de las expresiones empleadas para la predicción del rendimiento de metano es la ecuación (1), la cual representa la reacción redox balanceada, considerando el metano,

dióxido de carbono y amoniaco como productos de la digestión anaerobia. Esta ecuación se fundamenta en la composición del sustrato; pues, si la composición química elemental de la materia orgánica que entra en el sistema es conocida, se puede estimar la cantidad de metano producido basado en la estequiometria de la reacción (Poulsen, 2003; Contreras *et al.*, 2012 y Labatut *et al.*, 2011).

Ecuación 2:



Por otro lado, es importante destacar que el volumen de biogás que se produce al día en la digestión anaeróbica de los estiércoles varía según la especie, esto se debe a que el porcentaje de sólidos volátiles, los cuales se convertirán en biogás, depende de muchos factores particulares de cada especie. Muchos de los modelos matemáticos requieren medir la productividad de biogás teniendo en cuenta un valor promedio del volumen de biogás que se genera por cada kilogramo de sólidos volátiles; por lo tanto, para hacer uso de algún modelo matemático cuya formula requiera conocer productividad de biogás por kilogramo de sólidos volátiles, se realizó una revisión bibliográfica. En la Tabla 6 se presentan los diversos valores encontrados de algunos estudios en los que se tiene un valor estimado de biogás a producirse por cada kilogramo de sólidos volátiles en diferentes especies.

**Tabla 6:** Generación de biogás para diferentes especies

Especie	Generación de biogás (m <sup>3</sup> ) por kg de solidos volátiles (sv)	Autores
Ovino	0,16 - 0,42	Lipp GMBH citado por Diputación de Valladolid 2016.
Caballo	0.2 – 0.35	
Vacas	0.18-0.4	
Gallinas	0.33-0.65	
Vacuno	0.290-0.370 m <sup>3</sup> /kg VS	Hongmin <i>et al.</i> , 2006.
Vacuno	0.250 m <sup>3</sup> gas/Kg VS	Chávez , <i>et al.</i> , 2007.
Caballos	0.094 - 0.462 m <sup>3</sup> /kg VS	Hadin 2017.
Vacas	0.250	GTZ, 1987.
Caballos	0.250	
Aves	0.400	
Conejos	0,18 - 0,62	Vega, 2015.
Cerdos	0.3	Graño y Moscovitz, 2014.

**FUENTE:** Elaboración propia.

## 2.7 Residuos sólidos en la UNALM

Olivera (2017), en su estudio sobre manejo de residuos sólidos en el campus universitario de la UNALM, realizó una caracterización de los residuos sólidos. En la tabla 7 se muestra la clasificación de los residuos sólidos promedio por año según tipo en diferentes zonas del campus universitario (Olivera, 2017) .

**Tabla 7:** Clasificación de los residuos sólidos promedio según tipo por año en cada zona del campus universitario

Clasificación de Residuos Promedio	Aulas: Módulos y restaurantes, comedor, kioskos		Laboratorios de química, industrias alimentarias y agrícola, facultad pesquería, hidroponía.		Laboratorios de suelos, laboratorio de pesquería facultad de economía, zootecnia y laboratorio biotecnología		Administrativo: federado forestales centro idiomas, departamento de deportes y recreación, cuna infantil, sutuna proyección social, auditorio, rectorado.		Industrial: Almacén central, planta de leche panificación y servicios generales		Agropecuaria: bioterio, caballos, zootecnia, planta de alimentos balanceados huerto, unidad experimental.		Total
	Kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	Kg	%	
Plástico	14493.9	17	3843.686	12.1	2871.6859	12.7	9256.5165	23.1	9424.8666	26.1	2598.0282	10.6	42488.7
Vidrio	9719.4	11.4	2001.258	6.3	1266.2552	5.6	4047.2215	10.1	2274.9678	6.3	637.2522	2.6	19946.4
Papel y Cartón	18501.1	21.7	5304.922	16.7	4047.4943	17.9	10458.662	26.1	9135.9818	25.3	2549.0088	10.4	49997.1
Orgánico	38963.0	45.7	16899.512	53.2	11554.579	51.1	10699.091	26.7	10291.521	28.5	15441.111	63	103848.9
Textiles	1875.7	2.2	635.32	2	248.7287	1.1	1322.3595	3.3	1191.6498	3.3	220.5873	0.9	5494.3
Metales	596.8	0.7	349.426	1.1	135.6702	0.6	761.3585	1.9	2130.5254	5.9	171.5679	0.7	4145.4
Otros	255.8	0.3	1207.108	3.8	1899.3828	8.4	2604.6475	6.5	1083.318	3	2475.4797	10.1	9525.7
Peligrosos	767.3	0.9	1524.768	4.8	587.9042	2.6	921.6445	2.3	577.7696	1.6	392.1552	1.6	4771.6
Total	85258.3	100	31766	100	22611.7	100	40071.5	100	36110.6	100	24509.7	100	240327.9

FUENTE: Olivera, 2017

## 2.8 Residuos pecuarios en la UNALM

### 2.8.1 Población animal en la UNALM

Castillo y Delacroix (2012), en una revisión de las actas de Inventario físico de existencias de la Oficina de Patrimonio de la UNALM y Memorias Anuales de la Facultad de Zootecnia, recopilaron datos sobre población animal de las distintas unidades de la granja desde el año 2007 al 2010, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8:** Población animal periodo 2007 – 2010

N°	Unidad	Año			
		2007	2008	2009	2010
1	U.E. Zootecnia	371	273	260	261
2	Granja de Cerdos	180	223	N.D	463
3	U.E. Aves	6718	5991	4008	4623
4	Área Equinos	N.D	7	9	16
5	Granja Animales Menores	817	N.D	403	699
6	U.E. Ovinos y Camélidos	212	209	197	174

**FUENTE:** Castillo y Delacroix, 2012.

### 2.8.2 Generación de estiércol en la UNALM

En la Tabla 9 se muestran los resultados de Castillo y Delacroix (2012), que en su propuesta de un plan de manejo de residuos sólidos para la granja de Zootecnia de la UNALM, estimaron una generación total para el año 2010 y una generación máxima de excretas para cada unidad de la granja de zootecnia, que genera estiércol durante su proceso productivo, a través de una extrapolación entre la generación diaria de excretas por especie animal/día y el número de animales en cada unidad.

**Tabla 9:** Generación total y máxima de estiércol

Especie Animal	Cantidad de estiércol / día (kg) / animal		Nº de animales	Generación estiércol/día (kg)	Generación estiércol / mes (kg)	Generación estiércol / año (kg)
Vacuno	9.3	2010	261	2 414.25	72 427.5	869 130
		Máxima	371	3 431.8	102 952.5	1 235 430
Cerdo	5.9	2010	463	2 745.6	82 367.7	988 412.40
		Máxima	463	2 745.6	82 367.7	988 412.4
Avícola	0.2	2010	4623	693.45	20 803.5	249 642
		Máxima	6718	1 007.7	30 231	362 772
Ovino	1.0	2010	174	348	10 440	125 280
		Máxima	212	424	12 720	152 640
Caballo	15.0	2010	16	240	7200	86 400
		Máxima	16	240	7 200	86 400
Cuy	0.1	2010	699	62.91	1 887.30	22 647.6
		Máxima	817	73.5	2 205.9	26 470.8
Total	32.4	2010	6236	6 504.2	195 126	2 341 512
		Máxima	8597	7 922.6	237 677.1	2 852 125.2

FUENTE: Adaptado de Castillo y Delacroix, 2012.

### 2.8.3 Caracterización de estiércoles

Existen algunas investigaciones en las que se han realizado la caracterización de las excretas pecuarias. En la tabla 10 se presentan los resultados del análisis de humedad que presentan los estiércoles en las diferentes unidades de la granja de zootecnia, del estudio realizado por Castillo y Delacroix (2012). Además, en la tabla 11 se muestran los resultados de estudios realizados por Shirakawa (2016), de los que se obtienen los datos de caracterización de los residuos pecuarios de la Unidad Experimental de cerdos de la UNALM, los cuales serán empleados en el presente estudio para los cálculos.

**Tabla 10:** Resultados de análisis de humedad y materia seca en las unidades de la granja de zootecnia

Área		%Hd	%Ms
Unidad Experimental Ovinos y Camélidos		20.43	79.57
Granja de Animales Menores	Cuyes	35.71	64.29
	Conejos	30.14	69.86
Unidad experimental de zootecnia		23.57	76.43
Granja de cerdos		77.43	22.57
Unidad Experimental de Aves		34.29	65.71

**FUENTE:** Castillo y Delacroix, 2012.

**Tabla 11:** Resultados de caracterización de guano de cerdos de la granja de cerdos de la UNALM.

Materia Prima	H	O	C (%)	N (%)	C/N	Humedad
Guano de cerdo unidad experimental	5.7	38.87	38.02	2.83	13.57	81.12

**FUENTE:** Shirakawa, 2016.

#### 2.8.4 Generación teórica de estiércol.

A continuación, se muestran diferentes datos de investigaciones sobre generación de estiércol en diferentes especies animales.

**Tabla 12:** Generación de estiércol en diferentes especies

Especie		Generación de estiércol al día (kg)	Autores
Ovinos		2.5	Arrieta, 2016.
Ovino		1.5-3.5	Ventura y Sarmiento, sf.
Ovino	Grande	5	Martinez, sf.
	Mediano	2	
	Pequeño	1	
Cerdo	Primeriza	5	Gutierrez, 2002.
	Gestante	5	
	Lactante	12	
	Lechón	2	
	Gorrino	7.5	
Cerdo	Grande	2	Martinez, sf.
	Mediano	1.5	
	Pequeño	1	
Aves	Grande	0.15	Martinez, sf.
	Mediano	0.1	
	Pequeño	0.05	
Aves (Gallinas)		0.1- 0.25	AGENEX-Agencia Extremeña de la Energía, 2010.
Aves (Pollos de ceba)		0.2 – 0.3	Anon, 2000
Aves		0.12-0.15	FAO, Williams 2013
Codornices		0.08	Fuentes, 2014
Gallinas		0.1-0.3	De Lucas et al. (2012)
Cuyes		0.09	Zaldivaar, 2007
Vacunos	Grandes	43.2	Figueroa-Viramontes, 2009.
	Medianos	19.4	
Vacunos	Vacas	30	Del pozo 2008.
	Toros adultos	24- 30	
Vacunos		0.8% de su peso	Arrieta, 2016.

**FUENTE:** Elaboración propia.

## **2.9 Marco legal**

La Constitución Política del Perú (1993), resalta entre los derechos esenciales de la persona humana, el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida. El marco general de la política ambiental en el Perú se rige por el artículo 67, en el cual el Estado determina la política nacional ambiental y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales. Por otro lado, el artículo 2 inciso 22 expresa que toda persona tiene derecho a la paz, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

### **Ley general del ambiente: Ley n.° 28611-2005**

Esta ley establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país. En el artículo 67, establece entre otras responsabilidades que las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local deben priorizar medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada para la gestión y manejo de los residuos sólidos en las zonas urbanas y rurales. En el inciso 1 del artículo 119 establece que la responsabilidad de la gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de los gobiernos locales (SINIA, sf.).

### **Política nacional del ambiente: D. S. N.° 012-2009-MINAM**

La política ha sido formulada sobre la base del análisis de la situación ambiental del país, tomando en cuenta las políticas implícitas y lineamientos que sustentaron la elaboración de planes y estrategias nacionales en materias como diversidad biológica, bosques, cambio climático, residuos sólidos, saneamiento, sustancias químicas, entre otros. Así mismo, incluye los resultados del proceso de consulta pública descentralizado efectuado por el Ministerio del Ambiente (SINIA sf.).

### **Ley que modifica diversos artículos del código penal y de la Ley general del ambiente: Ley N.° 29263-2008**

La Ley N.° 292633 modifica el Título XIII del Código Penal peruano, que sanciona con penas mucho más duras los delitos ambientales. Como las mencionadas en el artículo 306

sobre incumplimiento de las normas relativas al manejo de residuos sólidos, es decir de aquellos que, sin autorización o aprobación de la autoridad competente, establece un vertedero o botadero de residuos sólidos que pueda perjudicar gravemente la calidad del ambiente, la salud humana. Y el artículo 307 sobre tráfico ilegal de residuos peligrosos, es decir de aquellos que ingrese ilegalmente al territorio nacional, use, emplee, coloque, traslade o disponga sin la debida autorización, residuos o desechos tóxicos o peligrosos para el ambiente, resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, utilización o consumo. Estos serán reprimidos con pena privativa de libertad (SINIA sf.)

### **2.9.1 Marco legal promotor de recursos energéticos renovables en el ámbito nacional**

El fomento de los biocombustibles, sumado a los problemas medio ambientales generados por el uso de combustibles fósiles que generan emisiones contaminantes dañinos para la salud, han llevado al Gobierno Peruano a entrar en la era de los biocombustibles, desde el 2003, mediante la Ley N° 28054: Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles líquidos. Dicha ley, en su artículo 1, «establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas» (El Peruano, 2003).

En el 2005 se aprobó el Decreto Supremo N° 013-2005-EM que establece el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, donde trata los porcentajes de mezcla y los cronogramas de aplicación; las normas técnicas de calidad de los biocombustibles; como se realizan los registros y las autorizaciones para los productores y comercializadores; las zonas para la preparación de la mezcla; la promoción tanto del desarrollo de tecnologías y de los cultivos para biocombustibles. Sin embargo, este reglamento contenía vacíos legales y conceptos los cuales generaban dudas en términos de mezclas, obligatoriedad, cronogramas como la definición de autoridades y temas tributarios. Finalmente, estos vacíos fueron corregidos con la aprobación del Reglamento complementario para la Comercialización de Biocombustibles (Decreto Supremo N° 021-2007-EM) aprobado el 2007. Este reglamento a derogado y reemplazado algunos artículos del primer reglamento, a su vez realizo cambios en los porcentajes de mezcla, estableció un nuevo cronograma para la comercialización de los biocombustibles y sus mezclas, asimismo estableció las definiciones del biodiesel y el etanol anhidro, aclaro la obligatoriedad del uso de las mezclas, además definió quienes serán los compradores autorizados y las zonas de mezcla, asimismo

las normas técnicas de calidad y las autoridades competentes involucradas. (El Peruano, 2007)

En este contexto, se tienen las siguientes leyes y decretos que complementan las anteriores leyes mencionadas:

- Ley N° 28546 Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables No Convencionales. Junio 2005
- DS N°050 -2008-EM Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables. Mayo 2008
- DL N°1002 Ley de Promoción Inversión Generación de Electricidad Uso de Energías Renovables. Mayo 2008
- DL N°1058 Promueve la Inversión en Generación Eléctrica con Recursos Hídricos y otros Recursos Renovables. Junio 2008
- D.S. 021-2007-EM Reglamento de Comercialización de Biocombustibles Líquidos 2007

## **2.9.2 Marco legal de manejo de residuos en el ámbito nacional.**

### **Ley general de residuos sólidos: Ley N° 27314-2000 y su modificatoria**

Tiene el objetivo de asegurar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos sean apropiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana. En el capítulo III de la Ley General de Residuos Sólidos, se presentan las obligaciones municipales, en lo que respecta a la gestión de los residuos sólidos, tanto a nivel provincial, donde en el Artículo 9° responsabiliza a las municipalidades provinciales de la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos, en todo el ámbito de su jurisdicción. Y en el artículo 10 responsabiliza a las municipalidades distritales por la prestación de los servicios de recolección y transporte de los residuos sólidos indicados en el artículo anterior y de la limpieza de vías, espacios y monumentos públicos en su jurisdicción. Los residuos sólidos en su totalidad deberán ser conducidos directamente a la planta de tratamiento, transferencia o al lugar de disposición final autorizado por la municipalidad provincial, estando obligados los municipios distritales al pago de los derechos correspondientes. La Ley de Residuos sólidos se modificó en el 2008 (**D. L. N° 1065-2008**) con el fin de promover el desarrollo de la infraestructura de los residuos sólidos, atender la demanda creciente de la población y del propio sector privado Complementariamente en los Artículos 40°, 41°, 46° y 49° del Decreto Legislativo n.° 1065

se mencionan los derechos, obligaciones, tasas intangibles y competencia para sancionar, de la sociedad civil, asimismo se precisan los mecanismos de la participación ciudadana (El Peruano, 2000).

#### **Modificatoria de la Ley de residuos sólidos: D. L. N° 1278-2017.**

La nueva Ley brinda una mejora sustantiva a las disposiciones contenidas en la antigua Ley. Entre algunas de las nuevas disposiciones, se crea la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos con el Decreto Supremo 002-2017-MINAM, establece el principio de economía circular, valorización de residuos, responsabilidad extendida del productor, responsabilidad compartida y protección del ambiente y salud. Incorpora el concepto de material de descarte. Promueve el aprovechamiento de residuos, dinamizando las transacciones comerciales entre generadores. Prioriza la eficiencia de materiales, la minimización y segregación de residuos sólidos en la fuente. Considera como residuo no peligroso a los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua para consumo humano o aguas residuales, salvo que el MVCS determine lo contrario, de este modo se facilita su aprovechamiento previo tratamiento. Descentraliza (entre SENACE, GORE y Municipalidades Provinciales) las competencias para aprobar Estudios Ambientales y Expedientes Técnicos de IRS (El Peruano, 2016).

#### **Reglamento de Ley general de residuos sólidos: D. S. N° 014 2017 MINAM.**

El Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, fue formulado con el fin de asegurar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos, sean apropiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana. En el artículo 6 responsabiliza a la Dirección General de Salud Ambiental-Digesa del Ministerio de Salud y a las Direcciones de Salud (DISA) o las Direcciones Regionales de Salud, según corresponda para los aspectos de gestión de residuos. En el artículo 7 define las responsabilidades de la autoridad sectorial competente, que está obligada a exigir el cumplimiento de la ley, el reglamento y sus demás normas. En el artículo 8 la municipalidad, tanto provincial como distrital, es responsable por la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de aquellos similares a éstos originados por otras actividades. (El Peruano, 2017)

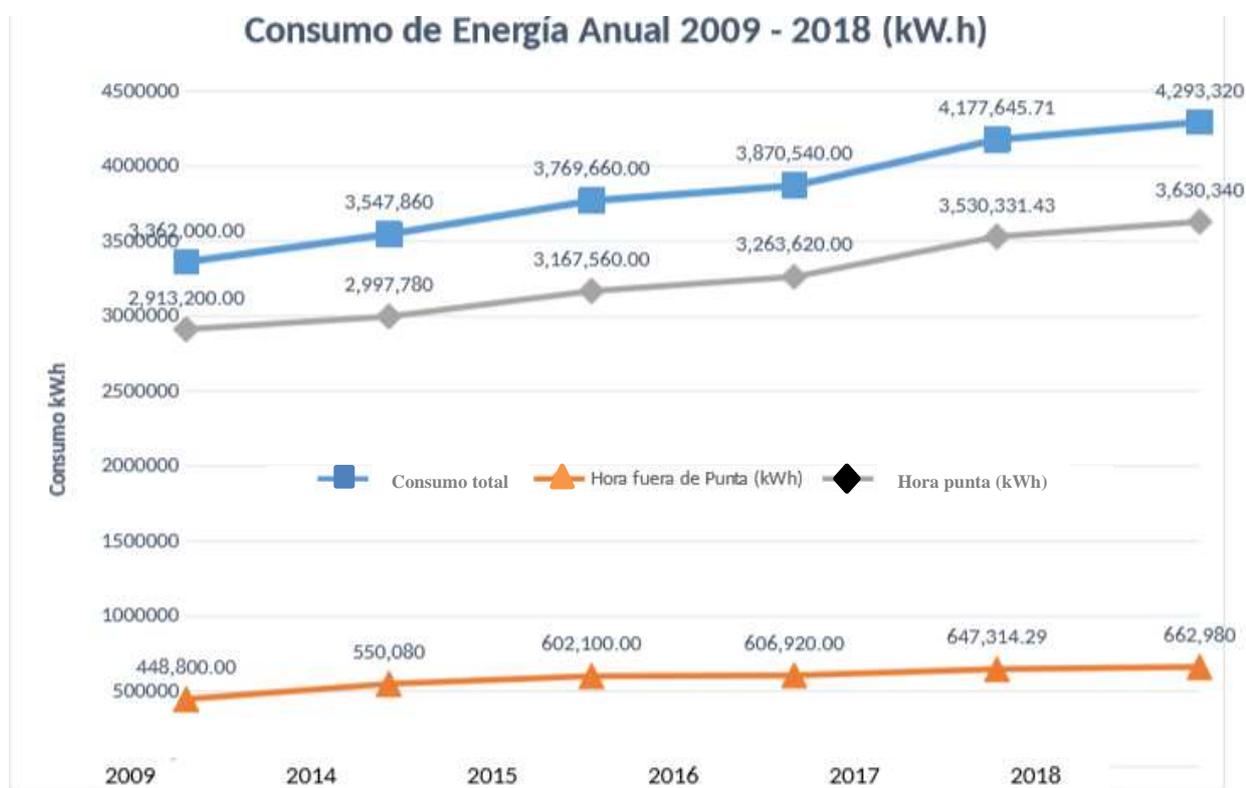
#### **Reglamento de Manejo de Residuos Sólidos del sector Agrario (DS N° 016-2012-AG):**

Regula la gestión de residuos sólidos agropecuarios y agroindustriales cumpliendo con lo establecido en el Artículo 6° del Decreto Legislativo N° 1065 - 2008, que modifica la ley N°

27314 Ley General de Residuos Sólidos, el cual determina que los residuos de origen agropecuario y agroindustrial son normados, evaluados y fiscalizados por el ministerio u organismo regulador y fiscalizador correspondiente, en este caso el sector agricultura. En el artículo 8° menciona la necesidad de contar con un Plan de manejo de residuos, el cual incluirá procedimientos técnicos y agroindustriales, este deberá cumplir con los objetivos del reglamento y sus consideraciones.

## 2.10 Antecedentes de consumo de energía en la UNALM

A pesar de que la UNALM viene obteniendo el reconocimiento de Institución Pública Ecoeficiente Modelo por parte del MINAM, el cual tiene entre sus ejes las medidas técnico operativas para el ahorro de recursos, el consumo de energía eléctrica dentro del campus UNALM ha ido incrementándose cada año (Cáceres, 2019). Esto ha influenciado en el incremento de los montos a pagar por el servicio de energía eléctrica. A continuación, se muestra el consumo de energía anual en la UNALM durante el periodo 2009-2018 (Figura 3).



**Figura 3:** Consumo de energía anual en la UNALM en el periodo 2009-2018  
**FUENTE:** Cáceres, 2019

## **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Lugar y periodo de estudio**

Este estudio se realizó en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina y se analizaron datos del periodo 2018-2019.

### **3.2 Fuente de información**

Toda la fuente de información fue recopilada de las fuentes de generación de biomasa dentro del campus de la UNALM, es decir, la granja de Zootecnia, y de la bibliografía de estudios anteriores dentro del campus UNALM.

### **3.3 Etapas de la investigación**

#### **3.3.1 Recopilación de información de la generación de biomasa residual pecuaria**

Para estimar la generación de biomasa residual pecuaria en la UNALM, primero se obtuvieron los registros anuales sobre el número de animales existentes en la UNALM, proporcionados por la Oficina de Patrimonio de la UNALM.

Por otro lado, los datos sobre generación de excretas por individuo según especie, fueron tomados de investigaciones realizadas en la UNALM, y de la revisión bibliográfica sobre generación de excretas de distintas especies como la que se puede apreciar en la Tabla 12.

#### **3.3.2 Muestreo y caracterización de la biomasa residual pecuaria**

El muestreo consistió en realizar un recorrido en zig-zag, desde un punto de entrada, hasta la esquina extrema, tomando en cada punto una submuestra, se realizó este procedimiento en todos los corrales o galpones de las distintas áreas. Para obtener una muestra representativa del área se realizó el método del cuarteo, el cual consiste en depositar sobre una manta las submuestras homogenizadas, las cuales se van cuarteando en forma de X, seleccionando 2 secciones opuestas que nuevamente son mezcladas y cuarteadas, hasta dejar una cantidad equivalente a 100g que corresponderá a la muestra compuesta.

Para la caracterización se analizaron las siguientes características fisicoquímicas: pH, conductividad, densidad, humedad, cenizas, poder calórico, y análisis elemental (Ver Tabla 16., en la sección 4.2).

Para determinar el pH y conductividad eléctrica, se extrajo un volumen de 30ml de sustrato y se agitó durante una hora con 6 veces su volumen de agua y se midió en suspensión no filtrada (Ouahid *et al.*, 2017). Para conocer el contenido de materia orgánica y cenizas se calcinó la muestra durante 6h a 500-550°C, tal y como lo indican los protocolos descritos por Valenzuela *et al.*, (1998) y APHA (Ouahid *et al.*, 2017).

Los análisis de humedad, poder calórico y análisis elemental, se siguieron los protocolos de la norma ASTM D7582, ASTM D5865 – 13 y ASTM D5373 - ASTM D4239 respectivamente. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Energías Renovables de la UNALM.

### 3.3.3 Estimación del potencial energético de la biomasa residual en el sector pecuario

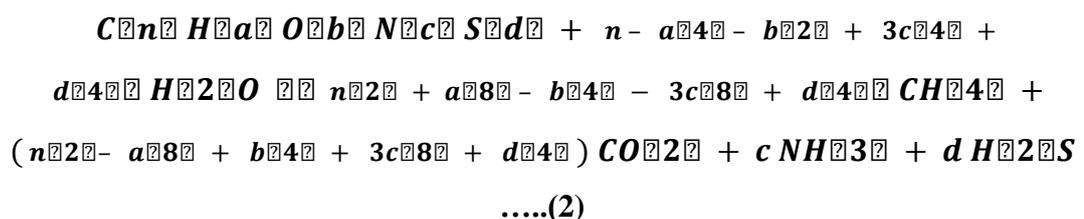
La biomasa residual pecuaria posee un alto contenido de humedad, para el aprovechamiento energético de una biomasa mediante combustión o gasificación, es indispensable que el residuo tenga una humedad menor al 40% (Escalante *et al.*, sf.). Es por ello que una alternativa para el uso del estiércol es la digestión anaerobia, mientras que, para algunos estiércoles con poca humedad, es posible aplicar procesos termoquímicos.

En este estudio, se hallará el potencial energético de la biomasa residual pecuaria en términos de biogás. Es decir, si esta biomasa fuere a ser convertida en biogás, ya que es un valor más cercano a la energía que se podría obtener para ser usada.

Se realizaron 2 estimaciones de potencial energético (PE):

a) PE según producción estequiométrica de biogás

Se halló el potencial energético de la biomasa al ser convertida en biogás, teniendo en cuenta la producción teórica de metano según el balance estequiométrico de la reacción:



De la ecuación 2, se obtuvo la cantidad de metano (moles) que se produce teóricamente y haciendo uso de la ecuación general de los gases:  $PV=RTn$ , se obtuvo el volumen de metano producido teóricamente a condiciones normales. Para hallar el potencial energético de este volumen de metano, se hizo uso de la ecuación 1 en la sección 2.2.1, teniendo en cuenta el PCI del metano:

$$PCI_{CH_4} = 13.8889 \text{ kWh/kg} = 50\,000 \text{ KJ/Kg} = 35\,748 \text{ KJ/N m}^3 = 9.93 \text{ kWh m}^3$$

(Fernandez, 2016)

b) PE según registros de productividad de biogás (  $\text{m}^3/\text{kg SV}$  )

Se halló el potencial energético de la biomasa al ser convertida en biogás, teniendo en cuenta los valores experimentales encontrados en la bibliografía (Tabla 6) de productividad de biogás (volumen de biogás producido por kilogramo de sólidos volátiles) para cada especie animal.

Se tiene en cuenta que son los sólidos volátiles los que contienen componentes orgánicos que teóricamente deben ser convertidos en metano, y que la conversión de biogás no se realiza al cien por ciento de su relación estequiométrica, por lo que se hizo uso de un modelo matemático aproximado para el potencial energético de la biomasa residual pecuaria, el cual se muestra en la ecuación 3.

En este modelo se tiene en cuenta el número total de cabezas (NA), la producción de materia seca por cabeza al año (MS), los sólidos volátiles presentes en la materia seca (SV), la producción de biogás reportada por otros autores (en  $\text{m}^3/\text{kg SV}$ ), el porcentaje de metano en el biogás (50%) y el poder calorífico inferior del metano ( $PCI_{CH_4}$ ).

$$PE = NA * MS * SV * Bo * (0.5) * PCI_{CH_4} \dots (3)$$

Dónde:

PE: Potencial energético (J/año)

NA: Número de animales [cabezas]

MS: Materia seca [Kg MS/cabeza-año]

SV: Sólidos volátiles [Kg sv/kg materia seca]

Bo: Producción de biogás [m<sup>3</sup> /Kg SV]

PCI<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Poder calorífico inferior del metano [J/m<sup>3</sup>]

El subíndice i hace referencia al grupo o sector

### **3.3.4 Alternativas de aprovechamiento energético de la biomasa residual**

Con los datos obtenidos se realizó una evaluación de la situación actual de las diferentes fuentes de biomasa residual pecuaria, así como una evaluación de los criterios más importantes para hacer factible su aprovechamiento energético como biogás y una evaluación económica de dicha alternativa.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1 Generación de biomasa residual por área y año**

La generación de estiércol está directamente relacionada con el número de animales que se encuentran en las diferentes áreas del campus, por lo tanto, se obtuvieron los registros de los inventarios anuales de existencias proporcionados por la Oficina de Patrimonio de la UNALM para obtener el número de animales, o población animal, del periodo 2008 – 2018 (Tabla 13). De entrevistas realizadas a trabajadores de las unidades experimentales se supo que el cambio en el número de animales en las diferentes áreas en el periodo de 10 años, es debido a factores que dependen directamente del manejo y procesos productivos que tiene cada unidad experimental.

En el caso de la unidad de Ovinos y Camélidos, en donde el número de animales disminuyó de 128 a 93 en el periodo de estudio, se encontró que la cantidad de animales está restringida básicamente por la limitada mano de obra, y debido a que no se tiene un fin productivo sino de investigación. Adicionalmente, sabemos que, a lo largo de los años del periodo de estudios, los animales presentes en la unidad no son de propiedad de la universidad, sino que tienen otros dueños, por lo que su disponibilidad es bastante variable.

En el programa de Aves se encontró una disminución mayor en el número de animales en el periodo de 2007 a 2018, esto se debe a varios factores como, por ejemplo, que el proceso de cría y recría en aves es más veloz que en otras unidades, al igual que la venta de animales beneficiados. Cabe destacar que, al momento de realizar el inventario de existencias, se toma en cuenta solo el número de animales que existen en el mes de diciembre, lo cual, no es representativo de la variabilidad que existe a lo largo del resto de meses. El jefe de la Unidad Experimental de Aves, sugirió que para tener una cantidad promedio más real, se debe contabilizar y promediar el número de aves cada mes.

En el caso de las especies: equinos y vacunos, se tiene una menor variabilidad en el número de animales debido a que la naturaleza de la actividad que realizan. En el caso de los equinos, no existe muerte, o venta de animales, y en el caso de los vacunos, al usarse principalmente para producción láctea, mantienen un número relativamente constante de cabezas de animales. Es por esto, que se puede considerar los residuos de estas dos especies como las que tienen mayor disponibilidad para ser usados como materia prima.

**Tabla 13:** Población animal periodo 2008 – 2018

Año	Unidad						Autor
	U.E Zootecnia	U.E. Aves	Sección Equinos	Animales Menores	Ovinos y Camélidos	Granja de Cerdos	
2008	273	5991	7	N.D.	209	223	Castillo y Delacroix 2012
2009	260	4008	9	403	197	N.D.	
2010	261	4623	16	699	174	463	
2011	255	N.D.	16	862	128	199	
2012	224	3230	16	624	116	360	Elaboración propia
2013	215	3400	17	749	102	N.D.	
2014	208	2025	17	877	104	444	
2016	204	N.D.	17	799	94	376	
2017	191	1309	16	464	98	N.D.	
2018	208	3226	16	599	93	221	

ND: No disponible en los registros.

**FUENTE:** Elaboración propia

La generación de estiércol de una misma especie, en kilogramos de estiércol al día por animal, tiene un rango variable debido a factores como tamaño de animal, estadio de vida, estilo de vida y sobre todo de su alimentación. La mejor forma de tener un valor real sobre la cantidad de estiércol que produce un animal al día, es mediante mediciones realizadas en dichos animales.

Las investigaciones previas dentro de la granja de Zootecnia de la UNALM son de suma importancia, así como también la realización de una cuantificación in-situ y la comparación con la bibliografía reportada.

Los valores de producción de estiércol en kilogramos por cabeza al día en la granja de zootecnia se muestran en la tabla 14, se han obtenido realizando un promedio utilizando los

valores de las investigaciones anteriores dentro de la UNALM, la amplia bibliografía de producción de estiércol teórica por especie animal (Tabla 12) y los valores encontrados in situ. Para el área de los establos de zootecnia, los trabajadores reportaron una producción total de 15 sacos de estiércol de 20kg cada uno; el caso de los vacunos, las entrevistas se realizaron tanto a alumnos encargados de la limpieza del área, así como al jefe del área, de lo cual se tuvo un promedio de 2 carretillas por individuo, es decir unos 20kg de residuos y para la granja de animales menores, se encontraron sacos de 8kg/5días para cada galpón de 250 individuos.

**Tabla 14:** Generación promedio y mínima de residuos por especie en un periodo de 10 años

Especie	Estiércol (kg / día x animal)	N° de animales		Generación estiércol/día (kg)	Generación estiércol / mes (kg)	Generación estiércol / año (kg)
		Promedio	Mínimo			
Vacunos	19.3	Promedio	230	4 439	135 019.6	1 620 235
		Mínimo	191	3686.3	112 125	1 345 500
Cerdos	5.9	Promedio	309	1823.1	55 452.63	665 431.5
		Mínimo	199	1 174.1	35 712.21	428 546.5
Aves	0.2	Promedio	3477	695.4	21 151.75	253 821
		Mínimo	2025	405	12 318.8	147 825
Equinos	15	Promedio	16	240	7 300	87 600
		Mínimo	7	105	3 192	38 325
Animales Menores	0.1	Promedio	685	68.5	2 083.54	25 002.5
		Mínimo	464	46.4	1 415.2	16 936
Ovinos	1	Promedio	131	131	3 984.6	47 815
		Mínimo	93	93	2 828.8	33 945
Total		Promedio	4847	7 397	224 992.08	2'699 905

**FUENTE:** Elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 14 se muestra la estimación de la generación de estiércol del número promedio y mínimo número de individuos en el rango de 10 años hasta la actualidad. La mayor generación de estiércol la tiene la especie vacunos, con un promedio de 1 620 235 kg al año. En el caso de los cerdos tenemos una producción de 665 431.5 kg al año, sin embargo,

sabemos que los residuos en la Unidad Experimental de Cerdos se desechan en forma de efluentes. Si se requiere evaluar alguna alternativa de uso, lo adecuado es trabajar en base a datos de caudal para tener el volumen de residuos que se genera en esta unidad. Suero (2016), en su Evaluación de opciones tecnológicas para el tratamiento de efluentes de la unidad experimental de cerdos de la UNALM, reportó un volumen de efluentes de 6.98 m<sup>3</sup>/día.

#### **4.2 Caracterización de la biomasa residual**

La caracterización fisicoquímica de los residuos nos permite conocer su composición, lo cual será importante no solo para hallar su potencial energético sino al momento de seleccionar una tecnología para su aprovechamiento energético.

Cabe destacar que el contenido de humedad de los residuos pecuarios depende mucho de las condiciones y protocolos de manejo de residuos que se tenga. En distintas investigaciones se han reportado datos de humedad menores al 50%, esto nos indica que en el manejo que se da a los residuos se pierde contenido de humedad, normalmente por largos periodos de tiempo entre la excreción y recolección o por exposición al sol. En el presente trabajo, y por las condiciones particulares del manejo de residuos en la granja de Zootecnia, se realizó una recolección de estiércol fresco para vacunos, animales menores, aves y equinos, lo que explica los niveles elevados de humedad; debido a las condiciones de manejo de residuos del Programa de ovinos, las muestras recolectadas fueron de estiércol con más tiempo de exposición al sol y condiciones ambientales. En el estudio realizado por Figueroa (2009), se analizaron diferentes estudios y estiércoles recién excretados de vaca, de lo cual concluyó que los estiércoles frescos tienen en promedio un 87-88 % que corresponde a humedad. En este trabajo, el porcentaje de humedad encontrado en las muestras de las distintas unidades de investigación son mayores a las reportadas en la caracterización realizada en el 2012 por Castillo y Delacroix (Tabla 10) dentro del campus UNALM. Esto puede deberse a que el manejo de los residuos en las distintas unidades ha cambiado a lo largo de estos años, y los residuos no son dejados expuestos por mucho tiempo al medio ambiente donde pueden perder humedad fácilmente.

Otros valores obtenidos en la caracterización fueron comparados con los reportes de diferentes investigaciones. Los valores de nitrógeno tienen un rango de 2-8% para estiércol vacuno (Cárdenas, J. 2012, Castellanos *et al.*, 1990 y Figueroa, 2009), 1.64% en cuyes

(Garfi, M. *et al.*, 2011), 1.79% N en conejos con una relación C/N de 25% (Li-li,B, *et al.*, 2013), en aves un 3.29% con una relación C:N de 10.30 (Cayci, G. *et al.*, 2017)

En el caso de pH, se han reportado valores de pH de 7.6 para vacunos (Cárdenas, J. 2012), 8.7 para cuyes (Garfi, *et al.*, 2011) y 8.0 para aves. Además, se ha reportado valores de pH en estiércol fresco mayores en vacunos que en ovinos (Irshad, M *et al.*, 2013), sin embargo, en el presente estudio, los valores de pH de estas especies fueron similares, lo cual puede deberse a que el estiércol de vaca es más fresco que el de oveja por las diferencias en el manejo y almacenamiento del residuo antes de la toma de muestra. Evaluar el pH, tanto del residuo inicial como en la mezcla de un biodigestor, es indispensable, pues se espera que el pH esté en un rango entre 6.5 y 7.5, sin caer por debajo de 6.2, ya que las bacterias metanogénicas no pueden actuar por debajo de ese rango (Ramírez, 2016).

El valor del PCI por sí mismo nos permite saber el potencial energético de toda la biomasa residual pecuaria sin considerar su transformación en biogás; es decir, solo la combustión directa de ese residuo y su transformación en energía. Sin embargo, la combustión directa de los estiércoles no se recomienda por tener un porcentaje alto de humedad, lo que hace menos eficiente el aprovechamiento energético de esta manera y es por ello que para realizar una correcta estimación del potencial energético se realiza en términos de biogás. Como podemos ver en la Tabla 15, el estiércol con mayor PCI es el de la sección de Ovinos y camélidos, lo cual puede deberse a que tiene los menores valores de humedad.

A continuación en la Tabla 15, se muestran los resultados de la caracterización de los estiércoles de las distintas áreas del campus UNALM

**Tabla 15:** Caracterización de los residuos pecuarios

Unidad		Ds aparente	Ds real g/ml	pH	%Hd	%Ms	Ceniza	% Sv	PCI (cal/g)	C:N	C%	H%	N%	S%	O%
U.E.Z	Vacunos	0.523664	1.0726	7.4	78.1	21.9	5.8	16	715.67	16.992	33.17	4.81	1.95	0.43	25.89
	Terneros	0.4466	0.989	7.5	77.5	22.5	3.15	19.45	902.77	16.100	41.36	5.80	2.57	0.48	28.22
Aves		0.338745	1.213	6.9	74.9	25.1	5.2	20.7	782.25	10.670	34.3	5.32	3.22	1.09	38.52
Sección equinos		0.233766	1.0585	7.1	73.3	26.7	3.33	22.23	1157.3 3	34.874	42.37	6.04	1.21	0.41	41.01
Animales Menores	Cuyes	0.278532	0.7518	8.1	54.39	45.61	7.64	36.97	1721.3 3	16.777	37.70	5.54	2.25	0.57	39.16
	Conejos	0.336261	0.6845	8.3	49.01	50.99	8.52	39.73	1897.0 0	21.684	38.39	5.68	1.77	0.59	40.87
Ovinos y Camélidos		0.23989	0.979	7.1	20.91	75	17	57	3535	23.004	35.71	5.09	1.55	0.35	39.16
Cerdos		ND	ND	7.6	80.73	19.3	4.8	14.5	ND	13.57	38.02	5.7	2.8	ND	39.87

**FUENTE:** Elaboración propia.

### 4.3 Potencial energético

- a) Se utilizaron los datos del contenido de C, H, O, N y S, y se balanceó la ecuación estequiométrica de la cual se obtuvo el volumen de metano producido teóricamente a condiciones normales.

Para hallar el potencial energético (PE), se multiplicó el volumen de metano por su PCI teórico.

$$PCI_{CH_4} = 13.8889 \text{ kWh/kg} = 50\,000 \text{ KJ/Kg} = 35\,748 \text{ KJ/N m}^3 = 9.93 \text{ kWh m}^3$$

(Fernandez, 2016)

**Tabla 16:** Potencial energético teórico en función a biogás producido estequiométricamente

	CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /año)	PE (Mwh/año)
Unidad Vacunos	111235.2	1104.565
Unidad Experimental de Aves	16448.96	163.3382
Equinos	7490.679	74.38244
Animales Menores	1995.71	19.8174
Ovinos y Camélidos	6030.426	59.88213
Unidad de Cerdos	71758.72	712.564
		2134.549 Mwh/año

**FUENTE:** Elaboración propia

b) Para hallar el potencial energético se usó el número promedio de animales de cada una de las unidades experimentales del campus (Tabla 13), los datos de materia seca y sólidos volátiles según la producción de estiércol por cabeza al año (Tablas 15 y 16); finalmente se reemplazó esos datos en la ecuación 3 y se obtuvo el potencial energético (PE) en Mwh/año de cada área experimental en la granja de zootecnia del campus (Tabla 17).

$$PE = \sum (NA_i * MS_i * SV_i * Bo_i * (0.5) * PCI_i CH_4) \dots (3)$$

El subíndice i hace referencia al grupo o sector

	NA	MS	SV	Bo	PE
Área	Número de Animales	Materia seca (Kg MS / cabeza año)	Sólidos volátiles (Kg sv/ kg MS)	Producción de Biogás (m <sup>3</sup> /Kg SV)	Potencial energético Mwh/año
Unidad Vacunos	230	1 563.879	0.8	0.28	400.04
Unidad Experimental de Aves	3477	18.323	0.825	0.400	104.3841274
Equinos	16	1461.825	0.87	0.29	29.29893747
Animales Menores	685	17.6295	0.798	0.4	19.13871178
Ovinos y Camélidos	131	273.75	0.76	0.29	39.24246382
Unidad de Cerdos	309	415.6255	0.75	0.32	153.0351
Total					745.135 Mwh/año

**Tabla 17:** Potencial energético según producción de Bo (m<sup>3</sup>/SV)

**FUENTE:** Elaboración propia.

En promedio, las especies tienen un potencial energético experimental (Tabla 17) que representa un 53.8% del potencial teórico estequiométrico (Tabla 16). Este porcentaje se ajusta a lo reportado en la literatura, en la que encontramos un rendimiento experimental de biogás entre 38% - 79% para distintas mezclas de estiércol, en relación a la producción teórica. (Solarte *et al.*, 2017 y Lobato, A., 2012). Las especies con menor potencial energético son las comprendidas en el área animales menores, seguido de ovinos y camélidos, equinos y aves. Además, en ambas tablas podemos apreciar que la especie cuyos residuos presentan mayor potencial energético son los vacunos con un valor teórico de 1104.565 Mwh/año.

Existen diversas experiencias de utilización de excrementos vacunos como energía. Filippín (1998) diseñó un biodigestor para obtener gas metano a partir de la fermentación de excrementos de vacas en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional de la Pampa, y reportó un volumen de 50m<sup>3</sup> de biogás por 100 vacas, lo cual representa un potencial energético de 182,5 Mwh/año. Además, Gonzales *et al.*, (2017), reportaron en su estudio un potencial energético de 7.54 Mwh/año para una granja de 15 vacas. Estos resultados son similares al potencial hallado para vacunos en la granja de zootecnia, que alcanza los 400.4 Mwh/año para un promedio de 230 vacas (Tabla 17).

Finalmente, el potencial energético teórico total de la biomasa residual pecuaria obtenido por el balance estequiométrico (Tabla 16) es de 2134.549 Mwh/año, lo cual es 2.5 veces mayor al potencial energético obtenido en base a los registros de producción de biogás (Tabla 17), el cual es 745.135 Mwh/año. Esto se debe a que el potencial energético (PE) total obtenido en base a la reacción estequiométrica (Tabla 16) considera la transformación total de los elementos en metano y, en cambio, los valores de producción de biogás en m<sup>3</sup> de biogás por kilogramo de sólidos volátiles (Bo), que se encuentran en la Tabla 17, se han obtenido de los reportes experimentales de trabajos e investigaciones realizadas sobre producción de biogás a partir de la biodigestión de estiércoles de las distintas especies en condiciones mesófilas.

El potencial teórico de metano calculado a partir de la ecuación (2), da el máximo contenido de metano que posiblemente se puede generar a partir de la materia orgánica dada. Sin embargo, el rendimiento real de metano de los digestores siempre es menor debido a que los procesos biológicos son altamente complejos y los consorcios de bacterias metanogénicas que lo realizan son sensibles a cambios en las condiciones ambientales como temperatura,

nutrientes, concentración de minerales, pH, condiciones redox óptimas y otros factores que se discutirán a continuación.

En principio, parte del aporte orgánico del sustrato se utilizará para la generación de nueva biomasa. Además, parte de la materia orgánica está unida a partículas inorgánicas y no estará disponible para la degradación microbiana, por lo cual un porcentaje de la materia orgánica saldrá del reactor sin degradarse. Parte de la materia orgánica como la lignina no puede degradarse en condiciones anaeróbicas, y en el caso de estiércoles animales, la diferencia que existe en la degradación que realiza cada animal y la mezcla de material de cama o restos de alimento, hace que el contenido de lignina según cada especie sea variable. En esta investigación no se ha determinado el contenido de lignina ni se ha hecho uso de ecuaciones que requieran conocer dicho valor; sin embargo, con el uso de modelos matemáticos derivados de las cinéticas de la digestión anaerobia sería posible estimar la fracción biodegradable de los materiales que contienen lignina.

Otro de los motivos por los que la producción de metano de forma experimental es menor a la teórica, es que el crecimiento microbiano puede estar restringido debido a la falta de nutrientes suficientes, por lo cual la relación carbono nitrógeno de cada materia prima es muy importante. Las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más carbono que nitrógeno; sin embargo, aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, también puede limitar su crecimiento el tener una cantidad excesiva. Es por esto que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 (FAO, 2011).

Para muchos grupos bacterianos el sulfuro es un inhibidor y esta sustancia puede producirse durante la degradación de materia orgánica que contiene azufre, tal como el estiércol de cerdo (FAO, 2011). Este es posiblemente la razón por la cual el valor del potencial energético de los residuos porcinos hallado teóricamente es mayor que el potencial energético hallado con la ecuación matemática y valores experimentales registrados, siendo este último un 21.4% del primero.

En general, aproximadamente el 50-70% de los materiales biodegradables se convertirán en biogás en un reactor de biogás promedio, este rango es aplicable al estiércol, lodos de depuradora, desechos de restaurantes y desechos domésticos (Poulsen, 2003). Los resultados del potencial energético obtenidos en la presente investigación usando valores de producción de biogás (Tabla 17) están dentro de ese intervalo. Se sabe que es aconsejable utilizar

potenciales de metano o biogás medidos en todas las condiciones en que se desea ejecutar el digestor; sin embargo, esto puede ser difícil pues existen muchas mediciones en plantas de biogás a gran escala que usan mezclas de diferentes materiales orgánicos como sustratos. Para el caso de la presente investigación se tuvo en cuenta estas condiciones y es por ello que la Tabla 6 presenta valores de producción de biogás por kilogramo de sólidos volátiles reportados en digestores mesófilos y valores de sustratos sin mezclar.

El potencial energético de los residuos pecuarios en base a los registros de producción de biogás es de 745.135 Mwh/año, lo cual equivaldría al consumo promedio anual de 460 hogares de Lima Metropolitana en el 2018 (OSINERGMIN, 2018), para los siguientes análisis, se usará el valor del potencial energético mencionado anteriormente para poder valorarlo de una manera más tangible. Los valores individuales de PE de la biomasa residual pecuaria son importantes más no trascendentales si es que no se realiza una evaluación del posible uso de esta energía y de los requerimientos energéticos en el campus, por lo cual en el siguiente apartado se discutirá la factibilidad y necesidad de este aprovechamiento energético de los residuos pecuarios.

#### **4.4 Análisis de alternativas de aprovechamiento energético**

##### **4.4.1 Evaluación de criterios para el aprovechamiento energético**

Para definir el contexto, se debe tener en cuenta que solo se evalúan los residuos pecuarios del campus, los residuos agrícolas de los cultivos de temporada en el campus de la UNALM no serán considerados, ya que su estacionalidad y ubicación complejizan la disponibilidad y la logística de transporte; y, por lo tanto, la viabilidad de algún proyecto de valorización energética. Para el caso de RSU el tratamiento actual se realiza en rellenos sanitarios municipales y debido a la complejidad en la separación de los RSU inorgánicos de los orgánicos en la actualidad, tampoco se toma en cuenta esta materia prima.

Para evaluar los residuos que pueden ser utilizados en un proyecto de autoabastecimiento energético, se debe tener en cuenta distintos criterios como el uso alternativo, disponibilidad, potencial de producción de biogás y características físicas y químicas. A continuación, se discute cada uno de estos factores.

El Uso alternativo se refiere a la utilización de la materia prima en otro tipo de actividad, los estiércoles en general pueden ser utilizados como abono, aunque suele ser necesario un tratamiento previo para su higienización, como el compostaje.

La Disponibilidad está relacionada con la generación de la materia prima y con su consumo, por lo que el uso alternativo también se encuentra incluido. La disponibilidad geográfica de cada uno de los residuos pecuarios en la UNALM es alta debido a que se encuentran concentrados en lugares definidos; sin embargo, es importante resaltar que la cantidad de residuos varía a lo largo de los años. Por ello, para realizar el presente análisis, es necesario considerar la cantidad de animales, y por lo tanto, de residuos, que están disponibles en el año 2018.

Actualmente, los residuos de la granja de cerdos son desechados y transportados fuera de la Unidad en forma de efluentes, por lo tanto, su disponibilidad se limita a su uso en dicha forma, siendo descargados solo en un momento del día, con un caudal de 6.98 m<sup>3</sup>/día.

En las entrevistas realizadas en la Unidad Experimental de Aves, se pudo conocer que el número de existencias varía considerablemente a lo largo de los meses y años, por la naturaleza de sus procesos productivos y de venta. Para considerar su uso como materia prima, es importante tomar como referencia el número mínimo de animales que se tiene en el periodo de 10 años, para poder asegurar un suministro constante.

En el caso del Programa de Investigación de Ovinos y Camélidos Americanos, el uso actual del estiércol ovino se encuentra restringido básicamente por la falta de mano de obra para movilizar el estiércol que se acumula bajo los galpones. Actualmente se realiza solo 1 venta anual del estiércol en el área de acumulación. Teniendo en cuenta que la cantidad (kg) de estiércol ovino producido no es considerable en relación a otras áreas, se puede considerar su uso para realizar una mezcla de materias primas y así obtener mejor productividad de biogás tal y como lo reporta Saico (2003). Por otro lado, al ser el estiércol con un porcentaje de humedad menor a 30%, se puede considerar su uso energético por combustión o pirólisis.

Los estiércoles de cuyes y conejos en la Unidad de Animales Menores tienen un 51% de humedad, por lo tanto, también se debe considerar su aprovechamiento energético como biogás; sin embargo, es importante destacar que su pH es mayor al rango de 6.0-8.0, rango ideal para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente.

Finalmente, la cantidad de estiércol generado por la sección de vacunos y equinos alcanza los 4 679 kg por día, lo cual representa el 63.26% de los residuos pecuarios diarios producidos en promedio. Además, su concentración dentro de Unidad Experimental de Zootecnia, en áreas cercanas y colindantes, permitirá tener los mínimos costos de transporte.

La caracterización de estos residuos arroja que su relación C:N, o la de la mezcla de estos dos residuos, puede estar dentro de los valores apropiados para la digestión anaeróbica, y el potencial energético tomando como sustrato solo estas dos especies asciende a 429.34 Mwh/año. El uso alternativo de los estiércoles luego de la producción de biogás es comparable, ya que la digestión anaeróbica permite generar abono con menores olores y mejor calidad en comparación a otros métodos de estabilización de residuos, y teniendo ya clientes que actualmente compran abonos sin tratamiento, su monetización es más factible.

**Tabla 18:** Resumen de evaluación de criterios

Criterios	Vacunos	Equinos	Aves	Animales menores	Cerdos	Ovinos
Estado	Sólido	Sólido	Sólido	Sólido	Líquido	Sólido
Contenido de humedad	Mayor al 30%	Mayor al 30%	Mayor al 30%	Mayor al 30%	Mayor al 30%	Menor al 30%
pH	6-8	6-8	6-8	Mayor a 8	6-8	6-8
Disponibilidad	Alta	Alta	Media	Media	Media	Alta
Uso alternativo actual	Abono y compostaje – alta demanda	Abono – alta demanda	Abono – poca demanda	Abono – poca demanda	Ninguno	Abono – poca demanda
Tecnología de aprovechamiento	Digestor flujo pistón o mezcla completa	Digestor flujo ascendente	Combustión o pirólisis			

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.4.2 Análisis económico del aprovechamiento energético como biogás

El biogás tiene distintas aplicaciones, por lo que podríamos desarrollar distintos enfoques a la hora de evaluar su impacto económico. Como por ejemplo la utilización del gas como combustible para la generación eléctrica, térmica y eléctrica-térmica juntas, y para vehículos motorizados. Según la bibliografía consultada, existen por lo menos 4 modelos de negocio aplicables a proyectos de uso de biogás: Autoproducción, en los que los ingresos son principalmente ahorro energético. Asociativo, en los que diversos productores se asocian para vender energía además de autoconsumo. En este tipo de proyectos, los compromisos deben ser a largo plazo para que sea exitoso. Individual, para grandes productores con potencial superior a 500kW, que no requieren asociación para vender energía. Por último, el modelo ESCO (Energy Services Company) sirve para grandes productores o asociaciones, y se encargan de desarrollo, diseño y financiamiento de los proyectos, instalación y

mantenimiento del equipo eficiente, medición y monitoreo de los ahorros generados y asumir riesgos del proyecto. Este tipo de modelo puede participar a su vez como socio de otras asociaciones y/o grandes productores o también de manera independiente comprando los sustratos a los productores mediante contratos a largo plazo.

Estos son algunos factores que se ha considerado para evaluar un proyecto exitoso a partir de biogás:

Disponibilidad del sustrato: Como se discutió anteriormente en la elección de la materia prima, este es un punto primordial. En el caso de la UNALM se posee control sobre esta variable, por lo que la producción energética será estable en el tiempo.

- a. Eficiencia de la conversión de la energía: Es importante utilizar las tecnologías eficientes disponibles, la tendencia general en proyectos de generación es utilizar la cogeneración, debido a la mayor eficiencia de conversión de la energía que posee. (Carrasco, 2015)
- b. Ingresos extras por tratamiento de desechos a terceros y venta de abono: Es importante tener presente la escalabilidad del proyecto, uno de los ingresos extras puede provenir del cobro por tratamiento de desechos a terceros. Además, el digestato proveniente de la digestión anaeróbica se utilizará como ingreso extra al ser vendido como abono en su post-tratamiento con filtros o compostaje.
- c. Financiamiento, subsidios y apoyo estatal: Un financiamiento externo con bajas tasas de interés permiten mejorar los flujos de caja y la rentabilidad de los proyectos. Además, el apoyo del estado permite mejorar su competitividad con respecto a la generación de energía tradicional.
- d. Impacto ambiental: los proyectos de generación con energías renovables no convencionales (ERNC) poseen un impacto positivo en el ambiente, siempre y cuando se cumplan las condiciones óptimas para el proyecto, por lo cual se debe tener especial cuidado con la disposición del digestato y la composición del gas a combustionar, para evitar la emisión de contaminantes al medio. Así, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes perjudiciales. Además, el uso de este tipo de energía brinda otros beneficios a la UNALM en tanto mejora la imagen de la institución y promueve el desarrollo sustentable en nuestra comunidad, y en otras universidades.

#### **4.4.2.1 Modelo Canvas**

Si queremos evaluar una forma de aprovechamiento económico lo primero que tenemos que hacer es pensar cómo vamos a hacerlo, si será viable, quién será nuestro cliente, etc. Para ordenarlo todo tenemos que pensar cuál será nuestro modelo de negocio, y aquí es donde entra la aplicación del Modelo Canvas, el cual es una herramienta para definir y crear modelos de negocio que simplifica 4 grandes áreas: clientes, oferta, infraestructura y viabilidad económica.

El modelo de negocios a seguir para un proyecto de biogás dependerá de los factores descritos en la sección anterior. Teniendo como caso base de los residuos pecuarios del área comprendida por la granja de zootecnia, el modelo de negocios sería del tipo individual con ahorro de energía y venta de abono producto de la digestión, sin la consideración de la venta de energía a la red. A continuación, se presenta el modelo canvas para un proyecto de autoabastecimiento de biogás:

**Tabla 19. Modelo Canvas**

<b>Socios Clave</b>	<b>Actividades clave</b>	<b>Propuesta de Valor</b>	<b>Relación con clientes</b>	<b>Segmentos de clientes</b>
<p>Para el caso de los modelos de autoproducción de energía, las etapas de diseño y operación pueden ser un problema si no se posee personal calificado para realizarlas.</p> <p>Para proyectos de biogás, un socio importante es el estado, ya que de él depende la difusión de este tipo de proyectos y también los distintos tipos de subsidios y normativas que puedan hacer más competitivas las energías renovables frente a las tecnologías tradicionales de generación.</p>	<p>Para asegurar el desempeño del modelo de negocio se hace indispensable asegurar un buen desempeño en las actividades productivas para tener un suministro de sustrato constante y minimizar el gasto transporte.</p> <p><b>Recursos clave</b> Los recursos orgánicos como suministros son lo más importante, además, el recurso monetario en los proyectos energéticos, permite contar con recursos intelectuales y personal calificado para la operación de la planta, así como para compra de equipos y la operación de éstos.</p>	<p>La necesidad que se busca satisfacer es la demanda creciente de energía y la escasez de alternativas. Una planta de biogás permite suministrar energía eléctrica y térmica de manera limpia, confiable y amigable con el medio ambiente. Además, mediante el proceso de digestión, se producen abonos con mayor valor.</p>	<p>Sólo la venta de abono buscaría una relación con el cliente en donde se busque la manera distribuir el fertilizante que acomode a ambos involucrados.</p> <p><b>Canales</b> Los medios a través de los cuales se entrega el abono a los consumidores son camiones. La energía posee una cadena un poco más compleja. Si se considera sólo el ahorro de energía eléctrica, no requiere de conexión a los sistemas de distribución locales.</p>	<p>Los clientes de proyectos de biogás pueden variar según el tipo de modelo.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El abono es un producto que es transversal a cualquier tipo de modelo. Los clientes en este caso son agricultores cercanos que requieran fertilizante.</li> <li>2. Para la producción de energía o biogas, el cliente será la UNALM como productora de residuos que se beneficiará ahorrando en energía.</li> </ol>
<p><b>Estructura de Costos</b> Para el modelo de autoproducción los principales costos provienen de la inversión inicial, del tratamiento del sustrato y del digestato pues se necesita personal para la mezcla, transporte, supervisión y tratamiento que depende de la calidad del digestato. Es importante considerar los costos de electricidad y combustibles (como autoconsumo de la planta), personal contratado y subcontratado, distribución del abono, manutenciones, seguros y contingencia, entre otros.</p>		<p><b>Fuente de ingresos</b> Las principales fuentes son el ahorro por términos energéticos y la venta de abono. Además, este tipo de proyecto presenta una escalabilidad importante al ser posible proyectar el ingreso de venta de energía y servicio de tratamiento de residuos, para escalas mayores el último punto se hace más importante.</p>		

**FUENTE:** Elaboración propia

#### **4.4.2.2 Uso energético**

Es importante resaltar las diferentes formas de uso energético teniendo en cuenta un potencial de 745.135 Mwh/año. La cogeneración térmica-eléctrica es una de las mejores opciones para el autoabastecimiento energético ya que posee una mayor eficiencia global (Carrasco, 2015), existen diferentes tecnologías que permiten usos de biogás como las turbinas a vapor, las turbinas a gas, los motores de combustión interna y los ciclos combinados gas-vapor. En general, la decisión del uso entre una y otra tecnología, depende de las demandas eléctricas y térmicas a cubrir.

Dentro del campus existen 63 consumidores mayores de energía eléctrica que forman parte de diferentes rubros (Ver Anexo 4). Los laboratorios, centros de producción y oficinas administrativas son los rubros que, en conjunto, representan más del 50% del consumo de energía eléctrica. Por otro lado, las subestaciones que registran las mediciones más altas de consumo de energía son las #9 y #4 (Ver tabla 20)

El consumo anual de energía del campus UNALM es de 4 293.3 MWh/año, dentro del cual, la instalación con mayor consumo de energía es es la Planta de Alimentos, la cual registra un consumo de 204.67 MWh/año que representa el 5.95% del consumo total del campus y unos s/.47,278.8 de gasto anual. Dicha instalación tiene una ubicación cercana a la granja de zootecnia y debido a la naturaleza de su actividad productiva, se considera adecuado optar por un cogenerador de energía eléctrica-térmica, el cual, debido al potencial energético anual de los residuos pecuarios, podría abastecer la demanda de dicha instalación.

Actualmente, la Oficina Administrativa de la UNALM manifiesta una gran preocupación por la creciente demanda energética registrada en los últimos años. Es imprescindible emitir normativas que complementen la Directiva N°002 – 2018 – OGA – Directiva para la gestión de la Ecoeficiencia de la UNALM, con contenido específico para el ahorro de energía eléctrica; además, conformar comités de fiscalización específicos que velen por el cumplimiento de las normas de la UNALM en torno al ahorro de recursos (Cáceres, 2019). Es por ello, que es importante estudiar los usos alternativos o necesidades de energía térmica dentro de las instalaciones del campus de la UNALM, e investigar si el uso de la energía térmica que se generaría por co-generación se debería limitar a la reutilización para la biodigestión de los residuos.

**Tabla 20:** Consumo de las subestaciones #9 y # 4

Sub estación	Nombre	Consumo (kW.h/mes)	Consumo en soles (soles/mes)
#9	BAN (nuevo edificio)	8056.95	1,861.15
	Edificio Escuela de Posgrado	2021.10	466.87
	Laboratorio del Sótano N°10 (Tablero 1)	12 931.35	2,987.14
	Laboratorio del Sótano N°10 (Tablero 2)	6328.50	1,461.88
	Laboratorio del Sótano N°10 (Tablero 3)	13 416.05	3,099.11
	Edificio Fac. Industrias	4 206.81	971.77
	Edificio Fac. Ciencias	5 688.33	1,314.00
	Auditorios A1, A2 y A3	3 776.98	872.48
	Aulas Turquesa	2 990.49	690.80
#4	Planta de Leche	5 258.51	1,214.71
	Bomba de agua Pozo chino II	9 200.10	2,125.22
	Granja de Zootecnia	2 313.74	534.47
	Servicios Generales	1 847.34	426.73
	Planta de Alimentos	17 055.85	3,939.90
	Camal	2 432.63	561.94
	Granja de Animales Menores	182.90	42.25
	Panificación	1 435.80	331.67
	Alumbrado Público	1 646.04	380.26

**FUENTE:** Adaptado de Cáceres, 2019.

## V. CONCLUSIONES

- Dentro del campus encontramos diferentes unidades de producción pecuaria entre las cuales se tiene una producción promedio de 7397 kg/día de residuos a lo largo de 10 años y un número promedio de animales de 4847. De los diferentes tipos de animales, los vacunos y equinos son los que han variado menos en número a lo largo de los años.
- La caracterización de los estiércoles muestra un contenido de humedad elevado, es por ello que el PCI, y por tanto el potencial energético, será menos eficiente si se considera como muestra fresca. El estiércol de ovinos y camélidos presentó el mayor PCI, siendo este 4.108456 kw/kg debido a su bajo contenido de humedad. Las diferencias en el contenido de humedad pueden deberse a los distintos procesos de manejo de residuos empleados en las unidades experimentales, las cuales mantienen el estiércol fresco lejos de condiciones ambientales que promuevan su secado.
- El potencial energético de los residuos de vacunos y equinos, asciende a 429.34 Mwh/año. Mientras que si se considera el total de residuos que producen las demás especies, se tiene un potencial energético de 745.135 Mwh/año. El potencial energético de los Residuos Pecuarios representa el 17.35 por ciento del consumo energético que tuvo la UNALM en el año 2018, este porcentaje equivale a s/. 311 891.28 (Anexo 2). Por lo tanto, la biometanización de los residuos biodegradables del campus UNALM podría convertirse en una alternativa eficaz en la gestión tradicional de los residuos, capaz de generar energía renovable como el biogás; reducir el volumen y peso de los residuos que van a los rellenos sanitarios y disminuir la emisión de metano a la atmósfera.
- Considerando la disponibilidad de la materia prima a través de los años para hacer una proyección confiable, sus características fisicoquímicas, disponibilidad según ubicación de la fuente de materia prima y el principal consumidor de energía eléctrica, se puede concluir que el estiércol vacuno y equino son los más viables para su aprovechamiento energético.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Diversos estudios realizados en la UNALM (Saico, 2003) refieren mejores rendimientos cuando se realizan mezclas de estiércol, por lo que es recomendable realizar mezclas de estiércol para optimizar la relación C:N y de esta manera aumentar la producción de biogás. En este sentido, las investigaciones realizadas con anterioridad en la UNALM son de suma importancia para poder encontrar una mezcla óptima.
- Dentro del campus existen a la fecha políticas y planes de mejora en el manejo de residuos sólidos urbanos, sin perjuicio de esto, se recomienda optimizar la segregación de residuos sólidos orgánicos urbanos para que puedan servir también como materia prima de biometanización.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Arzate, J. (2015). Desarrollo de la tecnología de biogás en México, retos y beneficio. Tesis para optar por el grado de Doctor en Biotecnología. Universidad Técnica de Berlín. Recuperado de: [http://www.mufm.fr/sites/mufm.univ-toulouse.fr/files/juan\\_antonio\\_arzate\\_salgado.pdf](http://www.mufm.fr/sites/mufm.univ-toulouse.fr/files/juan_antonio_arzate_salgado.pdf) (Consultado el: 26/01/2018)
- AGROWASTE. (s.f.). AGROWASTE. Recuperado de: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>
- Arrieta, W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico - Eléctrico Piura: Universidad de Piura.
- Basu, P. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. Second Edition. Elsevier Inc. Estados Unidos.
- Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A. & Vavilin, V.A. (2002). The IWA anaerobic digestion model no 1 (ADM1). Water Science and technology, 45(10), 65-73.
- Cáceres, R. (2019). Diagnóstico del consumo energético del campus UNALM. Dirección General de Administración. Universidad Nacional Agraria La Molina
- Cárdenas, J. (2012). Evaluación de la calidad de biogás y biol en digestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pretratados con la técnica del bocashi en la UNALM. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Carrasco, J.L. (2015). Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: una estrategia para diferentes contextos. Memoria para optar al título de ingeniero civil en biotecnología. Universidad de Chile.
- Castellanos, J.Z. (1990). La eficiente utilización de los estiércoles como fertilizantes y mejoradores de suelo. Sociedad Mexicana De La Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera. México.
- Castillo, E. & Delacroix, G. (2012). Propuesta de un plan de manejo de residuos sólidos para la granja de zootecnia de la UNALM. Trabajo de titulación. Universidad Nacional Agraria La Molina
- Cayci, G., Temiz, C. & Sözüdogru, S. (2017). The Effects of Fresh and Composted Chicken Manures on Some Soil Characteristics. Communications in soil science and plant analysis. University of Ankara, Turkey.
- CER, Centro de Energías Renovables. (2007). GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Proyectos de Biomasa. Guía para Evaluación Ambiental Energías Renovables no Convencionales. B y B Impresores, Santiago.
- Cervi, R., Esperancini, M. & Bueno, O. (2011). Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica. Información Tecnológica Vol. 22(4), 3-14. Brasil.
- Cesare, M.F. (2014). Estimación de las superficies necesarias para producir biocombustibles a partir del cultivo de palma aceitera y Jatropha curca para satisfacer la demanda energética del transporte de la región San Martín - Perú. Proyecto fin de master para optar el grado de: Master en Economía y Desarrollo Sostenible. Sevilla – España
- Chávez, R., Cartolín, R. Villanueva, R. & Cervantes, W. (2007). Biodigestores y el protocolo de Kyoto. Lima, Perú. Grupo Editorial Norma.

- Chacha, J. & Flores, A. (2017). Implementación de un biodigestor piloto unifamiliar para la obtención y caracterización de biogás de uso calorífico a base de estiércol vacuno. Universidad de Cotopa. Ecuador.
- Chen, Y., Cheng, J.J. & Creamer, K.S. (2008). Inhibition of Anaerobic Digestion Process: A Review. *Bioresource Technology* 99 (10).doi: 10.1016/j.biortech.2007.01.057
- Contreras, L., Schelle, H., Sebrango, C. & Pereda, I. (2012). Methane potential and Bof rice straw, rice husk and rice residues from the drying process. *Water Science & Technology*,6 (65),1142-1149.doi:10.2166/wst.2012.951
- Cotrina, R. (2013). Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento. Lima: Soluciones prácticas. Colección tecnologías transformando vidas. Lima, Perú.
- Damien, A. (2010). La Biomasa: Fundamentos, Tecnología y aplicaciones. Mundi-Prensa Libros, S.A
- Del pozo, A. (2008). Evaluación de los procesos de compostaje de estiércol de vacuno empleando buenas prácticas de manejo. Tesis de Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú
- Deublein, D. & Steinhauser. A. (2008). Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. Pg 443.
- Diputación de Valladolid. (2016). Resumen sobre el Potencial de aprovechamiento de la biomasa y cultivos energéticos en la zona centro de la provincia de Valladolid. Recuperado de:  
[http://www.diputaciondevalladolid.es/extras/ciudadanos/medio-ambiente/RESUMEN\\_JORNADAS\\_BIOMASA\\_ZONA\\_CENTRO.pdf](http://www.diputaciondevalladolid.es/extras/ciudadanos/medio-ambiente/RESUMEN_JORNADAS_BIOMASA_ZONA_CENTRO.pdf)
- El Peruano. (2000). 18 (N° 7333): 1 – 10. Consultado el 13 de julio del 2018. Disponible en: [https://busquedas.elperuano.pe/download/full/6b2RiZfzaw-9mw5lv35-H\\_](https://busquedas.elperuano.pe/download/full/6b2RiZfzaw-9mw5lv35-H_)
- El Peruano. (2003) 21(N° 8447): 5-6. Consultado el 13 de julio del 2018. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/4dwBtrYsqI8BcatYgJMuRz>

- El Peruano. (2007). 24 (N° 9810): 22 – 24. Consultado el 1 de julio del 2018. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/AjvJcN11aVPBGGJf6Fi9AL>
- El Peruano. (2012). 29 (478535): 9-18. Consultado el 23 de setiembre del 2018. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-de-manejo-de-los-residuos-solidos-del-se-decreto-supremo-n-016-2012-ag-866098-1/>
- El Peruano. (2016). 33 (13907): 18-34. Consultado el 1 de julio del 2018. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/FKXOp-gT4Bq96--RTZibDz>
- El Peruano. (2017). 34(14330): 18-49. Consultado el 1 de julio del 2018. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/2GF8qq3rquJ9nn6lwU8DQK>
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M. & Duarte, H. (s.f) Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Ministerio de Minas y Energía, Colombia.
- Esguerra, M. (1989). Experiencias prácticas con biodigestores de bajo costo para la generación de energía y el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Seminario FAO-CNRE: Tecnologías de producción de biogás. España.
- Esposito, G., Frunzo, L., Giordano, A., Liotta, F., Panico, A. & Pirozzi, F. (2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 11 (4), 325-341.doi:10.1007/s11157-012-9277-8
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2011). Manual de biogás. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2008). Bosques y energía: cuestiones clave. Roma.
- Fernandez, A. (2016). Infraestructuras necesarias y modelo de negocio para el ayuntamiento de Barcelona sobre el vehículo eléctrico. UPC. Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/104379>

- Filippín, C. (1988). Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional De La Pampa.
- Figuerola, U., Núñez, G., Delgado, J.A., Cueto, J.A. & Flores, J.P. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. México.
- Fundación Friedrich Ebert. (2010). Matriz energética en el Perú y energías renovables. Energía en el Perú: ¿hacia dónde vamos? Recuperado de:  
[http:// library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/07881.pdf](http://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/07881.pdf)
- Fundación Friedrich Ebert. (2013). Matriz energética en el Perú y energías renovables. Barreras para el desarrollo de la bioenergía. Recuperado de:  
<http://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/10183.pdf>
- Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Flotats, X., Perez, I. & Ferrer, I. (2011). Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at highaltitude. *Ecological Engineering*.
- Graño, P. & Moscovitz, A. (2014). Generación y distribución de energía renovable a partir de biogás. Universidad argentina de la empresa facultad de ingeniería y ciencias.
- Gonzales, E., Castillo, F. & Retto, C. (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. Facultad de Ingeniería.
- GTZ (German Agency for Technical Cooperation) (1987). Difusión de la tecnología del biogas en Colombia. Cali, Colombia
- Guccione A, L. (2009). Tratamiento de residuos orgánicos del comedor universitario de la unalm para su uso como alimento para cerdos en crecimiento” Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias - Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Guerrero E., J. & Ramirez F.I. (2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. *Scientia Et Technica*, 10(26): 199-204. Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia. Consultado el 18 de Enero de 2018. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911640034>
- Hadin, A., Hillman, K., Eriksson, O. (2017). Prospects for Increased Energy Recovery from Horse Manure-A Case Study of Management Practices, Environmental Impact and Costs
- Hilbert, J. (2000). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA. Castellar, Argentina. 57 p.
- Hongmin, D., Mangino, J. & McAllister, T. (2006). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. chapter 10 Emissions from livestock and manure management. A guidebook with lots of references to peer reviewed literature. Recuperado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- Irshad, M., Egrinya, A., Hussain, Z. & Ashraf, M. (2013). Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
- Kythreotou, N., Florides, G. & Tassou, S. (2014). A Review of Simple to Scientific Models for Anaerobic Digestion. *Renewable Energy*, 71, 701-714. doi: 10.1016/j.renene.2014.05.055
- Labatut, R., Angenent, L. & Scott, N. (2011). Biochemical Methane Potential and Biodegradability of Complex Organic Substrates. *Bioresource Technology*, 102 (3), 2255-2264. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.035
- Li-Li, B., Tie-jun, Y., Bin, W., Lin, B. & Xiang-chao, F. (2013). Evaluation and Comparison of Composting Rabbit Manure Mixed with Mushroom Residue and Rice Straw. *Journal of Agricultural Science and Technology*.
- Lobato, A. (2012). Study of the anaerobic co-digestion of livestock wastes with agroindustrial substrates. Universidad de León. Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad. México

- Madigan, M.T., Martinko, J., Parker, J., Fernández, M.G., Brock, T., Rodriguez, C. & Sánchez, M. (2004). Brock: Biología de los microorganismos. 10 ed. Pearson Educación, Madrid.
- Mahmood, Q., Zheng, P., Hayat, Y., Islam, E., Wu, D. & Ren-cun, J. (2008). Effect of pH on Anoxic Sulfide Oxidizing Reactor Performance. *Bioresource Technology*, 8 (99), 3291-3296. doi:10.1016/j.biortech.2007.07.006
- Mendoza, J. (2012). Marco legal de las energías renovables en el Perú: seminario de energías renovables en el Perú y tecnología Made in Germany. Osinergmin, Lima. Recuperado de:  
[http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/05\\_OSINERG\\_121113-PRE-JMG-Marco-Legal-Energias-RenovablesMatriz-Energetica.pdf](http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/05_OSINERG_121113-PRE-JMG-Marco-Legal-Energias-RenovablesMatriz-Energetica.pdf)
- MINEM. (2014). Plan energético nacional 2014-2025. Ministerio de Energía y Minas. Dirección general de eficiencia energética. Consultado 3 julio. 2018. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2ResEje-2014-2025%20Vf.pdf>
- Moreno, J., Moral, R., García-Morales, J.L., Pascual, J.A. & Bernal, M.P. eds. (2014). De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Madrid. Grupo Mundi-Prensa. Consultado 30 nov. 2017. Recuperado de:  
<https://books.google.com.pe/books?id=yL3-CAAQBAJ&lpg=PP1&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Nogués, F. & García, D. (2010). Energía de la Biomasa (volumen I) Universidad de Zaragoza. Página 77
- Olivera, M. (2017). Diagnóstico, caracterización y propuesta del plan de manejo de residuos sólidos del campus universitario de la UNALM. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería). (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Lima, Perú

- OSINERGMIN. (2018). Informe de resultados de consumo y usos de la electricidad. Encuesta residencial de consumo y usos de energía - ERCUE 2018. Lima, Perú.
- Ouahid, E. & Afilal, M. (2017). Optimization of Treatment and Energetic Valorization of Chicken Droppings by Anaerobic Digestion. University of Mohamed first, Biological Laboratory plants and microorganisms. Oujda, Morocco.
- Pagés-Díaz, J., Pereda-Reyes, I., Taherzadeh, M.J., Sárvári, I. & Lundin, M. (2014). Anaerobic co-digestion of solid slaughterhouse wastes with agro-residues: synergistic and antagonistic interactions determined in batch digestion assays. *Chemical Engineering Journal*, 245, 89-98. doi:10.1016/j.cej.2014.02.008
- Poulsen, T. (2003). Solid Waste Management. Chapter 5: Anaerobic Digestion. Aalborg University. Dinamarca. Recuperado de:  
[http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/intwastech5\\_poulsen\\_2003.pdf](http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/intwastech5_poulsen_2003.pdf)
- Ramirez, G. (2016). Valoración de la producción de biogas durante un proceso de digestión anaerobia con contenido ruminal de origen bovino bajo condiciones de tiempo, carga y temperatura diferenciales. Universidad de Manizales, Facultad de ciencias contables, económicas y administrativas. Colombia. Recuperado de:  
[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2771/Ramirez\\_Sanchez\\_Gloria\\_pdf.2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2771/Ramirez_Sanchez_Gloria_pdf.2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)) Consultado el 15 de setiembre del 2018
- Saico Z, L.K. (2003). Determinacion de sustratos óptimos para la producción de biogas a partir de estiércol deganado ovino, vacuno y porcino de los corrales de crianza de la unalm. Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis de post grado.
- Sánchez, N. (2014). Obtención de gas de síntesis a partir de biomasa utilizando catalizadores de Níquel. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingeniería Industrial
- Serrato M., C.C. & Lesmes C., V. (2016). Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería, Proyecto Cular Ingeniería Eléctrica. Bogotá, Colombia.

- Shirakawa, A. (2016). Evaluación del método de ensilado de excretas de cerdo en la generación de biogás y biol mediante biodigestores.
- SINIA. sf. Compendio Ley General del Ambiente. Ministerio de Ambiente. Consultado 7 de enero del 2018. Recuperado de: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- Solarte, J., Mariscal, J., Aristizábal, B. (2017). Evaluation of anaerobic digestion and co-digestion in laboratory scale bioreactors. Revista ION. Universidad Industrial de Santander
- Thomas, J. & Ashok, J.S. (2013). Economics of Biomass Energy a Case Study. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, 2 ed. Recuperado de: [http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%204/IJESIT201304\\_68.pdf](http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%204/IJESIT201304_68.pdf)
- Toscano, T. (2016). Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el rancho Guadalupe, en el cantón mocha provincia de Tungurahua en el año (2015. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias. Riobamba, Ecuador.
- USDA, (2009). Cooperative Approaches for Implementation of Dairy Manure Digesters. Research Report 217
- Valenzuela, O., Lallana, V. & Guerrero, A. (1998). Caracterización física y química de lombricompostos originados a partir de residuos de conejeras, estiércol vacuno y residuos domiciliarios. Facultad Ciencias Agropecuarias UNER. Uruguay.
- Vásquez, A., De la Cruz, R. & Coello, F. (2016). Los biocombustibles: desarrollos recientes y tendencias internacionales. Documento de Trabajo N° 36. Gerencia de Políticas y Análisis Económico. OSINERGMIN. Lima, Perú. Recuperado de: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Documentos\\_de\\_Trabajo/Documento-Trabajo-36.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Documentos_de_Trabajo/Documento-Trabajo-36.pdf) (Consultado el: 08/02/2018).
- Vásquez, A., De la Cruz, R., Llerena, M. & Isla, M. (2016). La política de introducción de los biocombustibles en el Perú: una evaluación desde un enfoque de Equilibrio General Computable. Reporte de Análisis Económico Sectorial – Sector

Hidrocarburos Líquidos. Vol 7, diciembre. Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin. Lima, Perú. Recuperado de:  
[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/RAES/RAESHidrocarburos-Diciembre-2016-OEE-OS.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAESHidrocarburos-Diciembre-2016-OEE-OS.pdf)

Vega, J. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un digestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica de estiércol de cuy y conejo para la institución educativa privada Cristiana Bereshi. Universidad Nacional de Santa. Chimbote, Perú.

Villanueva, J. (2017). Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. *Lacandonia*, v. 5, n. 2, p. 149-158, abr. 2017. Recuperado de:  
<https://cuid.unicach.mx/revistas/index.php/lacandonia/article/view/258>>.

## **|VIII. ANEXOS**

## Anexo 1: Reporte de análisis de caracterización



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

### REPORTE DE ANÁLISIS ELEMENTAL (C, H, N, O, S) LER – BIOMASA 033 - 2019

Solicitante : Srta. Isabel Iman  
Atención : Srta. Isabel Iman  
Muestra : Estiércol  
Procedente de : Establo UNALM - Lima, Perú  
Fecha Recepción : 26 / 01 / 2019  
Norma: : ASTM D5373 - ASTM D4239

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
UBE-(11/2018)-0216	Estiércol de vacuno	33.17	4.81	1.95	0.43	25.89
UBE-(11/2018)-0217	Estiércol de terneros	41.36	5.80	2.57	0.48	28.22
UBE-(11/2018)-0238	Estiércol de gallinas	31.23	4.84	3.29	1.18	35.96
UBE-(11/2018)-0239	Estiércol de pavos	37.37	5.81	3.15	0.99	41.07
UBE-(11/2018)-0248	Bosta de caballo	42.37	6.04	1.21	0.41	41.01
UBE-(01/2019)-0001	Estiércol de conejos	38.39	5.68	1.77	0.59	40.87
UBE-(01/2019)-0002	Estiércol de cuyes	37.70	5.54	2.25	0.57	39.16
UBE-(03/2019)-0066	Estiércol de Ovinos	35.71	5.09	1.55	0.35	35.61

#### NOTA:

- El análisis se realizó con las muestras en base seca (las muestras tal como se recibieron fueron secadas en estufa durante 24 horas a 105 °C).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.



José Calle Maraví, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de  
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO – TGA (PROXIMAL)  
LER – BIOMASA 034 – 2019

Solicitante : Srta. Isabel Iman  
Atención : Srta. Isabel Iman  
Muestra : Estiércol  
Procedente de : Establo UNALM - Lima, Perú  
Fecha Recepción : 26 / 01 / 2019  
Norma: : ASTM D7582

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE HUMEDA		
		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CENIZAS (%)
UBE-(11/2018)-0216	Estiércol de vacuno	78.19	16.00	5.87
UBE-(11/2018)-0217	Estiércol de terneros	77.52	19.45	3.15
UBE-(11/2018)-0238	Estiércol de gallinas	75.04	19.02	6.72
UBE-(11/2018)-0239	Estiércol de pavos	74.84	22.19	3.68
UBE-(11/2018)-0248	Bosta de caballo	73.36	22.23	3.33
UBE-(01/2019)-0001	Estiércol de conejos	49.01	39.73	8.52
UBE-(01/2019)-0002	Estiércol de cuyes	54.39	36.97	7.64
UBE-(03/2019)-0066	Estiércol de Ovinos	20.91	57.55	17.15

NOTA:

- El análisis se realizó con las muestras en base húmeda (La base húmeda se refiere al análisis de las muestras sin tratamiento previo).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.

  
Laboratorio de Energías Renovables

  
José Calle Maravi, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS DE PODER CALÓRICO  
(CALORÍMETRO)  
LER – BIOMASA 035 – 2019

Solicitante : Srta. Isabel Iman  
Atención : Srta. Isabel Iman  
Muestra : Estiércol  
Procedente de : Establo UNALM - Lima, Perú  
Fecha Recepción : 26 / 01 / 2019  
Norma: : ASTM D5865 – 13

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE SECA	BASE HÚMEDA
		PCS (Cal/g)	PCI (Cal/g)
UBE-(11/2018)-0216	Estiércol de vacuno	3281.27	715.67
UBE-(11/2018)-0217	Estiércol de terneros	4015.97	902.77
UBE-(11/2018)-0238	Estiércol de gallinas	2375.87	593.27
UBE-(11/2018)-0239	Estiércol de pavos	3859.33	971.23
UBE-(11/2018)-0248	Bosta de caballo	4503.30	1157.33
UBE-(01/2019)-0001	Estiércol de conejos	3719.87	1897.00
UBE-(01/2019)-0002	Estiércol de cuyes	3773.93	1721.33
UBE-(03/2019)-0066	Estiércol de Ovinos	4469.07	3535.00

**NOTA:**

- Las muestras fueron analizadas en base seca (las muestras tal como se recibieron fueron secadas en estufa durante 24 horas a 105 °C).
- El PCI se obtiene por cálculo a partir del PCS determinado sobre la muestra analizada. El cálculo del PCI exige el conocimiento del contenido de humedad de la muestra analizada.
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.



José Calle Maraví, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de  
Energías Renovables

## Anexo 2: Consumo de energía en el periodo 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN

### Consumo de energía periodo Enero 2018 - Diciembre 2018

N° Colaboradores		N° suministro: 312427 - Estación 5					
		Costo (S/.)	Hora Punta (kWh)	Hora fuera de Punta (kWh)	Total (kWh)	kWh/colab.	S/. / colab.
7442	ENE	S/. 105,343.50	48 620	271 440	320 060	43.01	S/. 14.16
7442	FEB	S/. 121,890.80	55120	311580	366700	49.27	S/. 16.38
7442	MAR	S/. 176,386.10	48340	276380	324720	43.63	S/. 23.70
7442	ABR	S/. 163,355.50	56980	322060	379040	50.93	S/. 21.95
7442	MAY	S/. 158,140.80	61340	320060	381400	51.25	S/. 21.25
7442	JUN	S/. 155,926.20	59880	317660	377540	50.73	S/. 20.95
7442	JUL	S/. 146,683.00	53900	294980	348880	46.88	S/. 19.71
7442	AGO	S/. 139,638.30	49080	273860	322940	43.39	S/. 18.76
7442	SEP	S/. 168,570.00	55300	302120	357420	48.03	S/. 22.65
7442	OCT	S/. 151,736.50	56260	308480	364740	49.01	S/. 20.39
7442	NOV	S/. 155,887.30	60160	320120	380280	51.10	S/. 20.95
7442	DIC	S/. 154,086.30	58000	311600	369600	49.66	S/. 20.70
<b>Sumatoria</b>		<b>S/. 1,797,644.30</b>	<b>662980</b>	<b>3630340</b>	<b>4293320</b>	<b>576.904</b>	<b>S/. 241.55</b>
<b>Promedio</b>		<b>S/. 149,803.69</b>	<b>55248.333</b>	<b>302528.333</b>	<b>357 776.667</b>	<b>48.075</b>	<b>S/. 20.13</b>

Fuente: Reporte de Ecoeficiencia de la UNALM

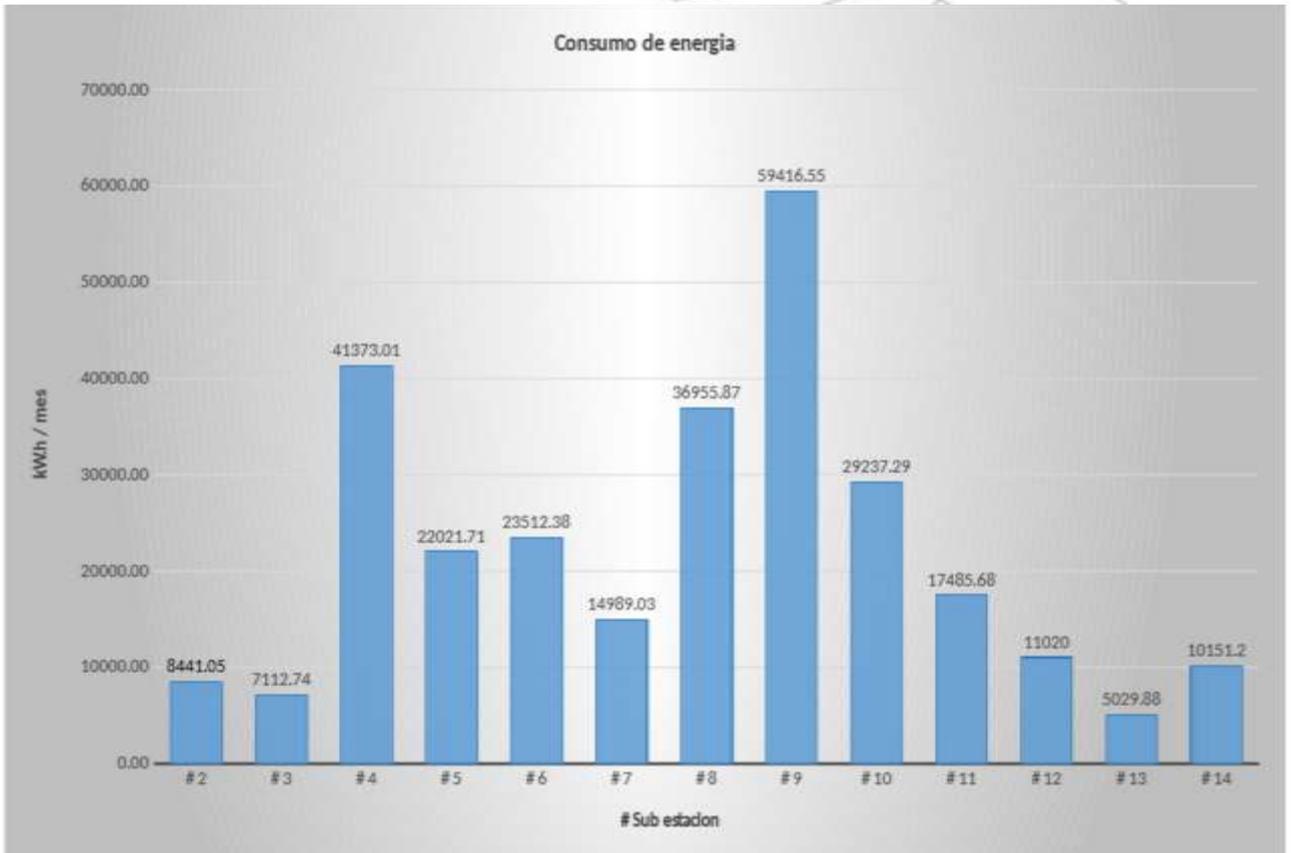


Fuente: Reporte de Ecoeficiencia de la UNALM

Anexo 3: Consumo de energía por subestaciones



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN



#### Anexo 4: Consumo detallado de energía por subestaciones

# Sub Estación	NOMBRE	MEDIDA CAMPO (A)	POTENCIA (kW)	CONSUMO (kWh / mes)	Precio unitario energía		CONSUMO (Soles/mes)	CLASIF. CONSUMIDOR
					Hora punta	Hora fuera punta		
# 2	CEMTRAR	8.7	3.32	795.63	S/. 0.2758	S/. 0.2310	S/ 183.79	BAJO
	Granja de Aves	10.1	3.85	923.67			S/ 213.37	BAJO
	Fundo - UNALM	2.9	1.11	265.21			S/ 61.26	BAJO
	Programa de Leguminosas	6.8	2.59	621.88			S/ 143.65	BAJO
	Puerta Nro. 5	1.3	0.50	118.89			S/ 27.46	BAJO
	Tablero Fundo - Motores	1.2	0.46	109.74			S/ 25.35	BAJO
	Programa de Algodón	3.6	1.37	329.23			S/ 76.05	BAJO
	Oficina de Almacén Central	41.3	15.74	3776.98			S/ 872.48	ALTO
	Laboratorio de Biodiesel (energías renovables)	1.4	0.53	128.03			S/ 29.58	BAJO
	Alumbrado publico	15	5.72	1371.78			S/ 316.88	ALTO
# 3	Planta de Leche (nuevo edificio)	39.7	15.13	3630.66			S/ 838.68	ALTO
	Planta de Leche (bomba contra incendio)	0	0.00	0.00			S/ -	BAJO
	Lab. Pastizales	12	4.57	1097.43			S/ 253.51	BAJO
	Programa de Frutales	5.50	1.21	290.40			S/ 67.08	BAJO
	Fac. de Zootecnia (nuevo edificio)	15.9	6.06	1454.09			S/ 335.90	ALTO
	Bomba contra incendios	3	1.14	274.36			S/ 63.38	BAJO
	Alumbrado publico	4	1.52	365.81			S/ 84.50	BAJO
# 4	Planta de Leche	57.5	21.91	5258.51			S/ 1,214.71	ALTO
	Bomba de agua Pozo chino II	100.6	38.33	9200.10			S/ 2,125.22	ALTO
	Granja de zootecnia	25.3	9.64	2313.74			S/ 534.47	ALTO
	Servicios Generales	20.2	7.70	1847.34			S/ 426.73	ALTO
	Planta de Alimentos	186.5	71.07	17055.85			S/ 3,939.90	ALTO
	Camal	26.6	10.14	2432.63			S/ 561.94	ALTO
	Granja de Animales Menores	2	0.76	182.90			S/ 42.25	BAJO
	Panificación	15.7	5.98	1435.80			S/ 331.67	ALTO
	Alumbrado publico	18	6.86	1646.14			S/ 380.26	ALTO
# 5	Auditorio Principal (salas)	7.6	2.90	695.04			S/ 160.55	BAJO
	Auditorio Principal (aires acondicionados)	10.6	4.04	969.39			S/ 223.93	BAJO
	Aulas Plomas	7.4	2.82	676.75			S/ 156.33	BAJO
	Aulas Rojas y Amarillas	14.4	5.49	1316.91			S/ 304.21	ALTO
	Aulas Azules y Verdes	28	10.67	2560.66			S/ 591.51	ALTO
	Aulas Naranja (antigua)	24	9.15	2194.85			S/ 507.01	ALTO
	Dpto. de Deportes	38	14.48	3475.19			S/ 802.77	ALTO
	Oficina de Recursos Humanos	42	16.00	3841.00			S/ 887.27	ALTO
	Oficina de Estudios	24	9.15	2194.85			S/ 507.01	ALTO
	Aulas Naranja (nueva)	2.4	0.91	219.49			S/ 50.70	BAJO
	Alumbrado publico	19.4	7.39	1774.17			S/ 409.83	ALTO
	Rectorado (aire acondicionado)	23	8.76	2103.40			S/ 485.89	ALTO
	# 6	Oficina de Servicios Informáticos	31.6	12.04	2889.89			S/ 667.57
Unidad de Tesorería, Contabilidad, Abastecimiento		31.4	11.97	2871.60			S/ 663.34	ALTO
Programa de Mejoramiento Animal (nitrógeno)		8	3.05	731.62			S/ 169.00	BAJO
Programa de Mejoramiento Animal (nuevo edificio)		12	4.57	1097.43			S/ 253.51	BAJO
Oficina de Admisión		14	5.33	1280.33			S/ 295.76	ALTO
SUTUNA		9	3.43	823.07			S/ 190.13	BAJO
ADUNA		23	8.76	2103.40			S/ 485.89	ALTO
Programa de Mejoramiento Animal (2do nuevo edificio)		13	4.95	1188.88			S/ 274.63	BAJO
Rectorado		29.8	11.36	2725.28			S/ 629.54	ALTO
Campo ferial (Circuito Nro. 1)		1.3	0.50	118.89			S/ 27.46	BAJO
Campo ferial (Circuito Nro. 2)		5	1.91	457.26			S/ 105.63	BAJO
Oficina de Proyección Social		24	9.15	2194.85			S/ 507.01	ALTO
Programa de Maíz		26	9.91	2377.76			S/ 549.26	ALTO
Programa de Cereales		23	8.76	2103.40			S/ 485.89	ALTO
ADOCEJUNA	6	2.29	548.71			S/ 126.75	BAJO	
# 7	Hidroponía	2.2	0.84	201.20			S/ 46.48	BAJO
	Centro de Idiomas	12.5	4.76	1143.15			S/ 264.07	BAJO
	Facultad de Forestales	18.2	6.94	1664.43			S/ 384.48	ALTO
	OGA	3	1.14	274.36			S/ 63.38	BAJO
	Silvicultura	12	4.57	1097.43			S/ 253.51	BAJO

continuación

	Manos Molineras	6	2.29	548.71		5/	126.75	BAJO
	CCFF Forestales	9.2	3.51	841.36		5/	194.35	BAJO
	Fotocopiadora CCFF Forestales	8.5	3.24	777.34		5/	179.57	BAJO
	Laboratorio de Bioquímica	8.9	3.39	813.93		5/	188.02	BAJO
	Laboratorio Sensorial	28.3	10.78	2588.10		5/	597.85	ALTO
	Laboratorio de Ing. Ambiental	15.2	5.79	1390.07		5/	321.11	ALTO
	Planta Piloto de Alimentos de la Fac de Industrias Alimentarias	29.9	11.39	2734.42		5/	631.65	ALTO
	Alumbrado publico	10	3.81	914.52		5/	211.25	BAJO
# 8	Laboratorio del Sótano Nro. 9 (Tablero Nro. 1)	64	24.39	5852.95		5/	1,352.03	ALTO
	Aulas Rojas (aire acondicionado)	2.6	0.99	237.78		5/	54.93	BAJO
	Laboratorio del Sótano Nro. 9 (Tablero Nro. 2)	58.2	22.18	5322.52		5/	1,229.50	ALTO
	Laboratorio del Sótano Nro. 9 (Tablero Nro. 3)	118.2	45.04	10809.66		5/	2,497.03	ALTO
	Edificio Fac. de Economía	46.9	17.87	4269.11		5/	990.78	ALTO
	Edificio Fac. de Agronomía	63.2	24.08	5779.78		5/	1,335.13	ALTO
	Facultad de Zootecnia (construcción antigua)	4.8	1.83	438.97		5/	101.40	BAJO
	Aulas Marrones	14.2	5.41	1298.62		5/	299.98	ALTO
# 9	Tablero 2do piso Aulas Rojas	32	12.19	2926.47		5/	676.02	ALTO
	BAN (nuevo edificio)	88.1	33.57	8056.95		5/	1,861.15	ALTO
	Edificio Escuela de Posgrado	22.1	8.42	2021.10		5/	466.87	ALTO
	Laboratorio del Sótano Nro. 10 (Tablero Nro1)	141.4	53.88	12931.35		5/	2,987.14	ALTO
	Laboratorio del Sótano Nro. 10 (Tablero Nro2)	69.2	26.37	6328.50		5/	1,461.88	ALTO
	Laboratorio del Sótano Nro. 10 (Tablero Nro3)	146.7	55.90	13416.05		5/	3,099.11	ALTO
	Edificio Fac. Industrias Alimentarias y Mecanización Agrícola	46	17.53	4206.81		5/	971.77	ALTO
	Edificio Fac. de Ciencias	62.2	23.70	5688.33		5/	1,314.00	ALTO
# 10	Auditorios A-1, A-2 y A-3	41.3	15.74	3776.98		5/	872.48	ALTO
	Aulas Turquesa	32.7	12.46	2990.49		5/	690.80	ALTO
	Centro de Servicios	22.9	8.73	2094.26		5/	483.77	ALTO
	Comedor Universitario	172	65.54	15729.79		5/	3,633.58	ALTO
	Laboratorio de Suelos (nuevo edificio)	9	3.43	823.07		5/	190.13	BAJO
	Fac. de Agrícola (construcción nueva)	10.8	4.12	987.68		5/	228.16	BAJO
	Aulas Celeste, Guindas y Paraninfo	17	6.48	1554.69		5/	359.13	ALTO
	Centro Medico	36	13.72	3292.28		5/	760.52	ALTO
# 11	Centros Federados	23	8.76	2103.40		5/	485.89	ALTO
	Centros Federados (concesionarios)	29	11.05	2652.12		5/	612.64	ALTO
	BAN (edificio antiguo)	146	55.63	13352.03		5/	3,084.32	ALTO
	Escuela de Posgrado	7	2.67	640.17		5/	147.88	BAJO
	Centro de Ventas	16.7	6.36	1527.25		5/	352.80	ALTO
	Cámaras	2	0.76	182.90		5/	42.25	BAJO
	Alumbrado publico	19.5	7.43	1783.32		5/	411.95	ALTO
	Laboratorio de Geomática	41	15.62	3749.54		5/	866.14	ALTO
# 12	Laboratorio de Desastres	19.6	7.47	1792.46		5/	414.06	ALTO
	Laboratorio de Toxicología	17.6	6.71	1609.56		5/	371.81	ALTO
	Laboratorio de Microbiología (Marino Tabusso)	18	6.86	1646.14		5/	380.26	ALTO
	Laboratorio de Microbiología (temas de emergencia)	7	2.67	640.17		5/	147.88	BAJO
	UPS de Desastres	9.3	3.54	850.51		5/	196.47	BAJO
	Laboratorio de Micología	8	3.05	731.62		5/	169.00	BAJO
	Sistema de Riego tecnificado	55	20.96	5029.88		5/	1,161.90	ALTO
	IBT (nuevo edificio)	95	36.20	8687.97		5/	2,006.92	ALTO
# 14	Pre - Agraria (nueva construcción prefabricada)	13	4.95	1188.88		5/	274.63	BAJO
	Campamento de Redes	3	1.14	274.36		5/	63.38	BAJO

FUENTE: Dirección General de Administración

Anexo 5: Recibo de consumo de energía eléctrica (ABR 2019) en la UNALM

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
UNIVERSIDAD S/N .  
LA MOLINA - LIMA

R.U.C.: 20147897406 TELEFONO: 994555978  
Recibo Nro.226429383 M - CP-00105  
000105



**LUZ DEL SUR**

AV. CANAVAL Y MOREYRA 380 SAN ISIDRO  
RUC 20331888008 www.luzdelsur.com.pe

Nº SUMINISTRO	<b>312427</b>
---------------	---------------

DATOS DEL SUMINISTRO			
Sucursal	SANTA ANITA	Conexión	Subterránea C5.5
Ruta	34-749-0377	Potencia	Contratada 1900.00 KW
Tarifa	MT3	Facturación	Variable
Nivel Tensión	10 KV	Medidor	Trifásico
Sector Típico	1 (SE0133)		Electrónico 3 hilos

DETALLE DE LOS IMPORTES FACTURADOS			
Descripción	Precio Unitario	Consumo	Importe
Cargo Fijo			4.83
Mant. y Reposición de Conexión			22.49
Consumo de Energía Hora Punta	0.2494	64760.00	16,151.14
Consumo de Energía Fuera Punta	0.2093	363680.00	76,118.22
Consumo de Energía Reactiva Inductiva	0.0453	50148.00	2,271.70
Potencia Generación Fuera de Punta	32.3800	1248.00	40,410.24
Potencia Distribución Fuera de Punta	10.1400	1250.00	12,675.00
Alumbrado Público			1,530.00
I.G.V.			26,853.06
Electrificación Rural (Ley N° 28749)	0.0084	426440.00	3,598.90
<b>SUBTOTAL DEL MES</b>			<b>179,635.58</b>
<b>TOTAL LUZ DEL SUR</b>			<b>179,635.58</b>



Importe 2 Últimos meses Facturados  
Feb-19 S/ 170,702.86 Mar-19 S/ 163,619.04

Energía Activa (kW.h)			
		Horas Punta	Fuera Punta
Lectura Actual	(25/04/2019)	59.830	344.970
Lectura Anterior	(25/03/2019)	43.640	254.050
Diferencia entre lecturas		32.000	181.000
Factor de Medición		4000	4000
Consumo a facturar		64760.00	363680.00

Demanda (kW)			
		Horas Punta	Fuera Punta
Lectura Actual	(25/04/2019)	0.2080	0.3120
Lectura Anterior	(25/03/2019)	0.0000	0.0000
Diferencia entre lecturas		65.0000	64.0000
Factor de Medición		4000	4000
Potencia Registrada		832.0000	1248.0000
Calificación		Fuera de Punta	
Factor de Calificación		0.420	
N° Horas de punta		125 horas	

Energía Reactiva (kVAR.h)		
		Inductiva
Lectura Actual	(25/04/2019)	191.980
Lectura Anterior	(25/03/2019)	147.310
Diferencia entre lecturas		89.000
Factor de Medición		4000
Consumo Registrado		178680.00
Consumo a facturar		50148.00

Historia de Consumos y Demandas

	My	Jun	Jl	Ag	Se	Oc	Nov	Dic	En	Fe	Mr	Ab
KWh - FP	32080	31785	29480	27080	30120	30680	32020	31100	30580	34980	31200	30880
KWh - FP	41340	36880	32880	40080	36320	36280	36780	36880	32880	36280	35480	34780
Max - kW	1114.00	1078.00	982.00	982.00	1062.00	1018.00	1084.00	1084.00	1086.00	1172.00	1052.00	1048.00

Ajuste sencillo mes anterior	0.09
Ajuste sencillo mes actual	-0.07

TOTAL A PAGAR S/	<b>**179,635.60</b>
------------------	---------------------

FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO
---------------	-------------------

<b>30-ABR-2019</b>	<b>15-MAY-2019</b>
--------------------	--------------------

MENSAJES AL CLIENTE

El total a pagar incluye: Recargo por FOSE (Ley 27510) S/ 5,404.61

Secuencia	00001	
Suministro	0312427 4	
Vencimiento	15-MAY-2019	
Cuenta	34-749-0377	
Tarifa	MT3	
20190425	**179,635.60	<b>S/ **179,635.60</b>
SANTA ANITA		
Total a Pagar	**179,635.60	



03124274 04000017963560

LUZ DEL SUR

**Anexo 6:** Generación de residuos pecuarios por áreas

<b>Área</b>	<b>Entrevistado</b>	<b>Encargados de limpieza</b>	<b>Cantidad de Residuos</b>	<b>Frecuencia de limpieza</b>
<b>Vacunos</b>	Facundo Aguila	Encargado de limpieza, alumnos	- 40 camiones de 10m <sup>3</sup> - 2 carretillas por individuo	- 3 meses - diario
<b>Equinos</b>	Helsin Anzulado	Jefe de prácticas, todos	100 sacos de 15 kg en una semana Aprox. 20 por día.	2 veces a la semana
<b>Aves</b>	Rubén Darío	Encargado de limpieza	42 sacos de 15 kg al día	Cada 2 semanas.
<b>Animales Menores</b>	Jimena Velazquez	Practicantes	6 sacos de 9kg al día	3 veces por semana en cuyes y 1 vez a la semana en conejos
<b>Ovinos</b>	Omar	Practicantes	Área de 82 x 10 mts	Anual
<b>Cerdos</b>	Jaime Carcho	Encargados de limpieza	2 carretillas y enjuague con agua.	Diario

**Anexo 7**

	Ecuación estequiométrica										Volumen CH4 (m3)	Potencial Energético	
	n	a	b	c	d	H2O	CH4	CO2	NH3	H2S	V=RTn/P	energético	
vacas	8918342.21	15235252	4856146.823	463601.3125	40834.3523	3039365.38	4965481.82	3952860.393	463601.3125	40834.35233	(condiciones normales) 111235.168	1104.565219	
aves	1501795.402	2795178.38	1264923.299	120844.1781	17896.7601	265646.481	734273.417				16448.9631	163.3382031	
equinos	640253.07	1095245.28	464776.5825	15672.26571	2323.31625		334380.121				7490.67871	74.38243959	
animales	176213.5258	311806.928	139003.5005	7979.780041	1007.3976		89087.4868				1995.70997	19.81740001	
ovinos	545680.1206	933355.972	448799.3599	20301.7367	2005.61512		269195.162				6030.42568	59.88212703	
cerdos	11701280.21	0	9451581.079	758591.91	0		3203272.87				71758.7153	712.5640432	
												2134.549432	Total

	kg anual	kg anual	sv	MS		C	H	O	N	S
vacas	1620235	287186.65	17.725	22.2	VACAS	37.265	5.305	27.055	2.26	0.455
aves	253821	52540.95	20.7	75	AVES	34.3	5.32	38.52	3.22	1.09
equinos	87600	18133.20	22.23	25.1	0.1 Equinos	42.37	6.04	41.01	1.21	0.41
animales	25002.50	5558.06	38.35	26.7	AnimMenor	38.045	5.61	40.015	2.01	0.58
ovinos	47815.00	18337.05	57	48.3	Ovinos	35.71	5.09	39.16	1.55	0.35
cerdos	665431.50	379295.96	14.5	19.3	cerdos	37.02		39.87	2.8	

	V	A	C	A	
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	8918342.21	15235252	4856146.823	463601.3125	40834.3523
masa	107020106.5	15235252	77698349.17	6490418.375	1306699.27
masamolar	12	1	16	14	32
E	Q	U	I	N	O
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	640253.07	1095245.28	464776.5825	15672.26571	2323.31625
masa	7683036.84	1095245.28	7436425.32	219411.72	74346.12
masamolar	12	1	16	14	32
O	V	I	N	O	
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	545680.1206	933355.972	448799.3599	20301.7367	2005.61512
masa	6548161.448	933355.972	7180789.759	284224.3138	64179.6838
masamolar	12	1	16	14	32

	A	V	E	S	
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	1501795.402	2795178.38	1264923.299	120844.178	17896.7601
masa	18021544.82	2795178.38	20238772.78	1691818.49	572696.322
masamolar	12	1	16	14	32
A.	M	E	N	O	R
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	176213.5258	311806.9276	139003.5005	7979.78004	1007.3976
masa	2114562.31	311806.9276	2224056.008	111716.921	32236.7234
masamolar	12	1	16	14	32
C	E	R	D	O	
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrogeno	azufre
moles	11701280.21	0	9451581.079	758591.91	0
masa	140415362.5	0	151225297.3	10620286.7	0
masamolar	12	1	16	14	32