

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
HUANCAVELICA**

(Creada por ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
SANITARIA**



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL  
TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE EXCRETAS DE BOVINO  
EN EL CENTRO POBLADO DE CALLQUI GRANDE - HUANCABELICA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
**RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

PRESENTADO POR:  
**Bach. AURIS RETAMOZO, Ruth Isabel**  
**Bach. MORALES DE LA CRUZ, Fátima Karilin**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

HUANCAVELICA, PERÚ  
2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 26 días del mes de noviembre del año 2019, a horas 6:30 p.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Mg. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN (SECRETARIO)**, **Ing. Héctor José LA ROSA GUERRERO (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 087-2019-FCI-UNH, de fecha 21 de mayo del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 231-2019-FCI-UNH de fecha 25 de noviembre del 2019, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE EXCRETAS DE BOVINO EN EL CENTRO POBLADO DE CALLQUI GRANDE-HUANCAVELICA", presentada por las Bachilleres **Ruth Isabel AURIS RETAMOZO y Fátima Karilin MORALES DE LA CRUZ**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; en presencia del **Mg. Jorge Luis HUERE PEÑA**, como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 7:30 p.m....; se invitó al público presente y a las sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

#### Ruth Isabel AURIS RETAMOZO

APROBADO  POR MAYORIA.....

DESAPROBADO

#### Fátima Karilin MORALES DE LA CRUZ

APROBADO  POR MAYORIA.....

DESAPROBADO

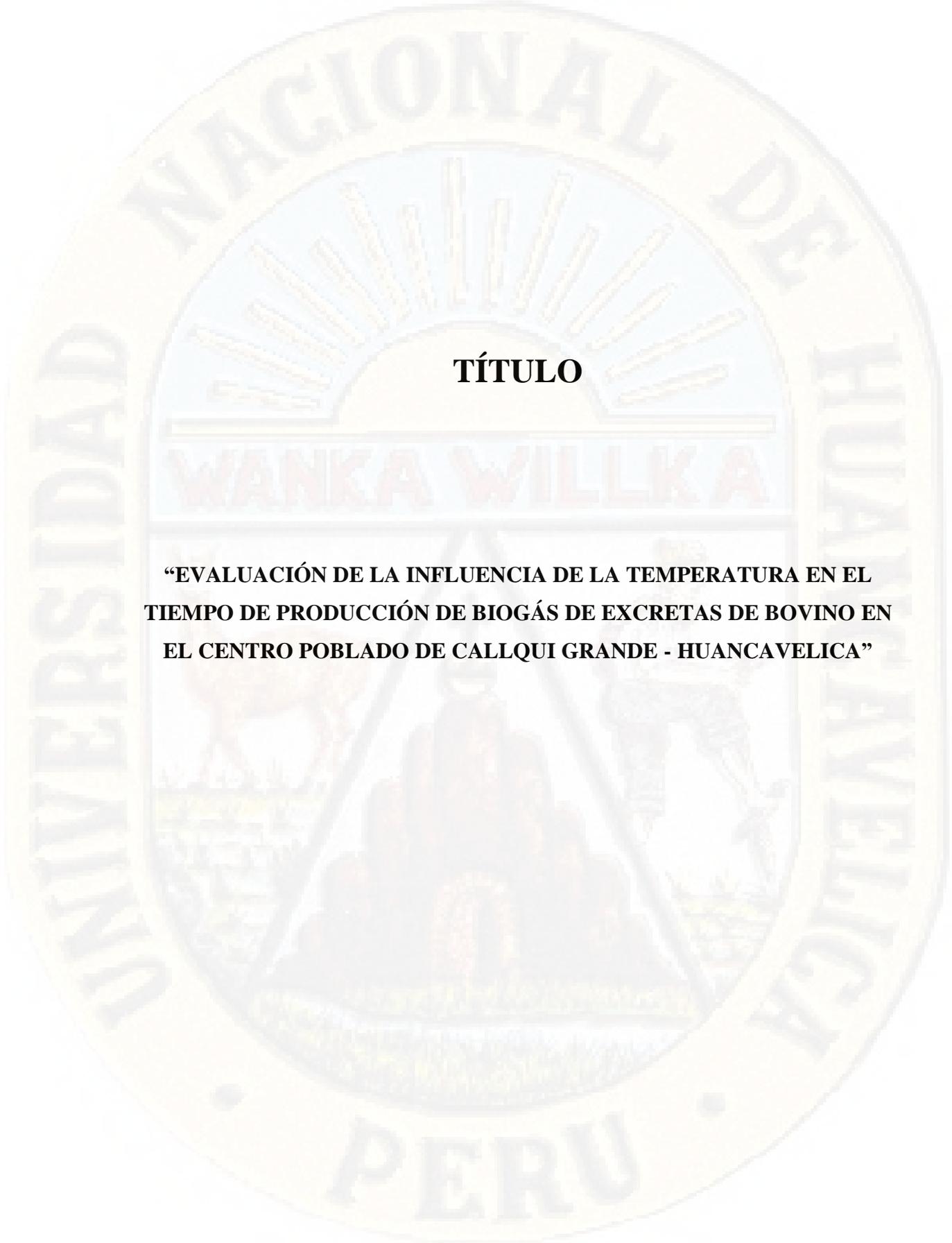
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Secretario

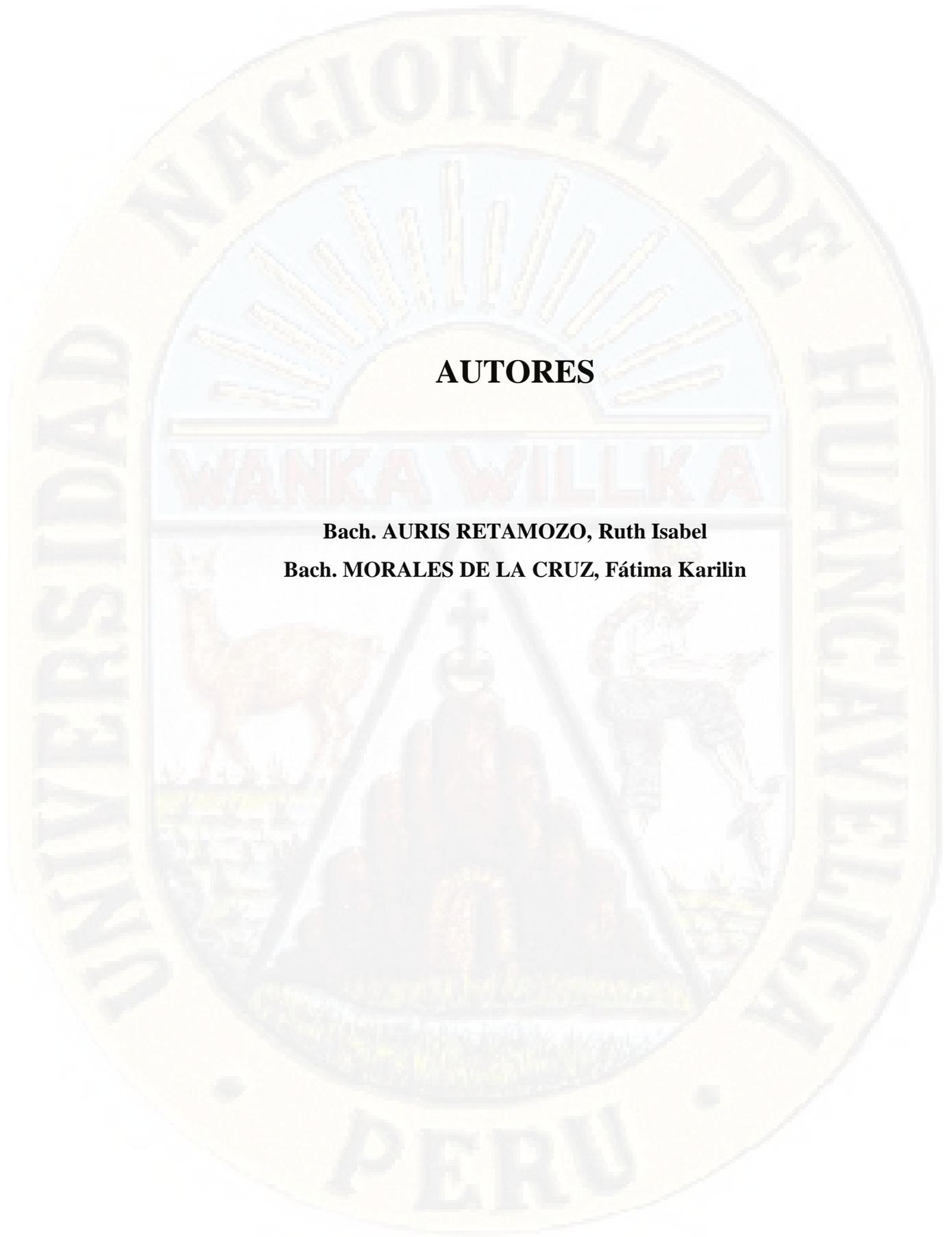
\_\_\_\_\_  
Vocal

\_\_\_\_\_  
V° B° Decano



## TÍTULO

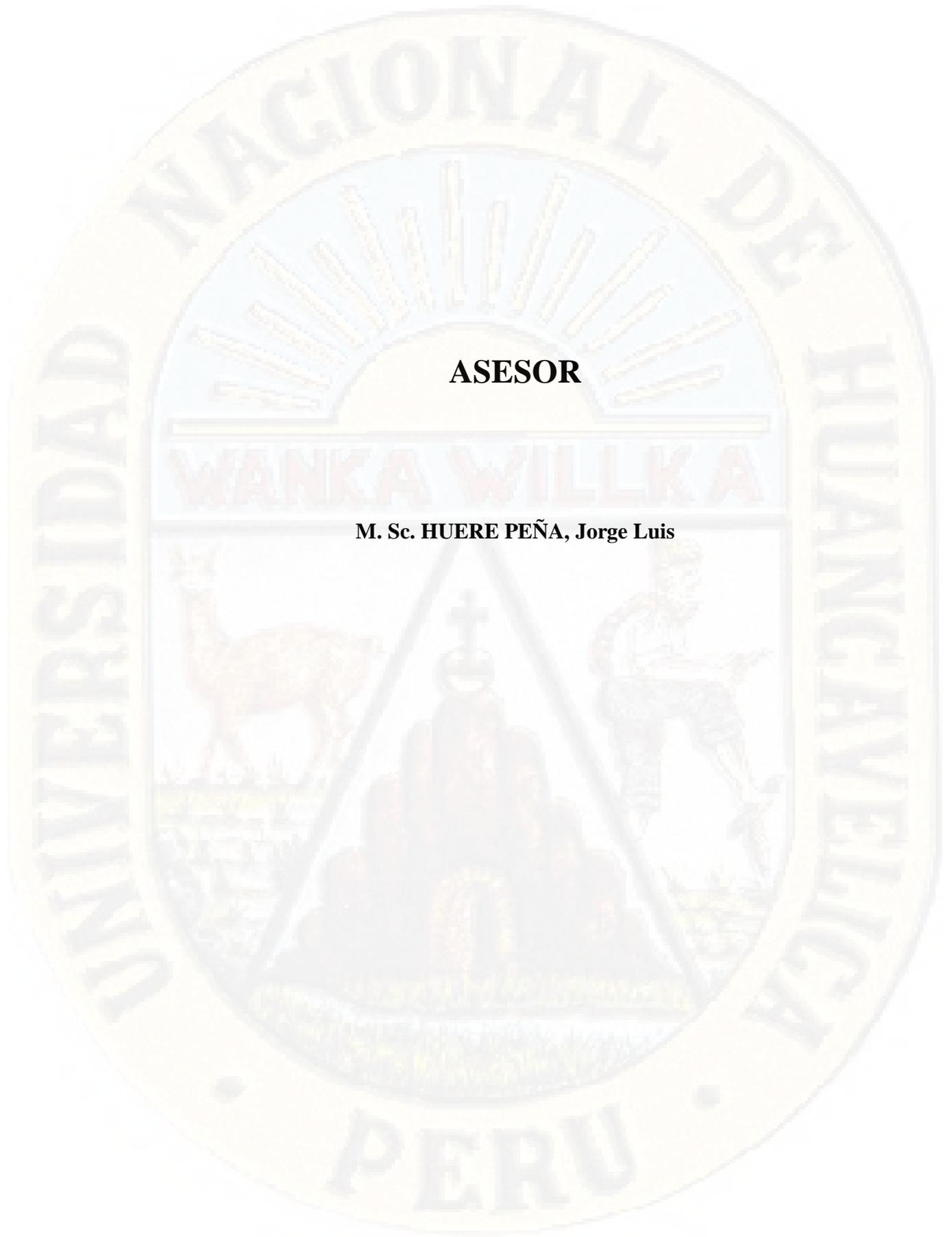
**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE EXCRETAS DE BOVINO EN EL CENTRO POBLADO DE CALLQUI GRANDE - HUANCAMELICA”**



## **AUTORES**

**Bach. AURIS RETAMOZO, Ruth Isabel**

**Bach. MORALES DE LA CRUZ, Fátima Karilin**



**ASESOR**

**M. Sc. HUERE PEÑA, Jorge Luis**

## **DEDICATORIA**

A Dios: por su amor y bondad que no tiene fin, por ser mi guía en el camino que elegí y por llenarme de gracia y bendiciones.

A mis padres: Samuel Auris y Esther Retamozo, quiénes con su dedicación, apoyo incondicional, esfuerzos y consejos supieron guiarme para culminar una etapa de mi formación profesional.

A mis hermanos: Maribel, Alexander, Judith, Juan, Vladimir, Fernando, Abel, Javier y Erick; quienes con su apoyo, consejos y motivación me ayudaron a conseguir mis objetivos y a no claudicar ante una adversidad.

A mi compañera de tesis: Fátima, por la motivación, entusiasmo y el compromiso de emprender juntas el logro de un grado profesional.

A todos mis maestros por impartir conocimientos, enseñanzas, experiencias y sobre todo el compromiso de cada uno de ellos hacia nosotros los estudiantes.

*Ruth Isabel Auris Retamozo.*

A Dios: ante todo, por guiarme hacia un camino correcto y derramar sus bendiciones.

A mi padre: William Morales, por ser la persona más importante en mi vida, quien a pesar de las dificultades nunca se rindió y estuvo a mi lado apoyándome y guiándome en mi formación profesional.

A mi Madre: Lina De la cruz, que en paz descansa, por cuidarme desde el más allá y orar por todos sus hijos.

A mis hermanos: Gandia y Franciss, quienes estuvieron en todo momento apoyándome y motivándome en mi vida profesional y personal.

A mi compañera de tesis: Ruth, por compartir momentos de estudio, consejos y apoyo culminando con el objetivo de obtener el grado profesional.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria por la educación brindada en nuestra formación universitaria y a todo mis amigos y compañeros de salón por compartir conocimientos y experiencias vividas en la universidad.

*Fátima Karilin Morales De La Cruz.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios Todopoderoso por permitirnos culminar nuestros estudios universitarios, ya que su sabiduría, misericordia y protección estuvieron siempre presentes a lo largo de nuestras vidas.

A nuestra institución, Universidad Nacional de Huancavelica y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; por la oportunidad brindada durante los años de formación profesional y así escalar un peldaño más en el campo del conocimiento.

A nuestro asesor de Tesis M.Sc. Huere Peña, Jorge Luis; por el apoyo incesante en la elaboración y ejecución de la Tesis.

A nuestros jurados, M.Sc. Pedro Antonio Palomino Pastrana, M.Sc Fernando Martín Toribio Román y Ing. Héctor José La Rosa Guerrero; por la atención, información, consejos e inculcación de esfuerzo y respeto brindada.

A la Estación Experimental Agraria Callqui Grande, por permitirnos y darnos el acceso para la ejecución del proyecto de tesis.

A nuestros padres, hermanos, amigos y compañeros por compartir sus conocimientos, experiencia y anécdotas con nosotros. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

# ÍNDICE GENERAL

TÍTULO .....	iii
AUTORES .....	iv
ASESOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPÍTULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación .....	4
1.5. Limitaciones .....	5
CAPÍTULO II .....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes .....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	10
2.1.3. Antecedente regionales .....	15
2.1.4. Antecedente local .....	16
2.2. Bases Teóricas .....	17
2.2.1. Teoría del biodigestor .....	17
2.2.2. Teoría de la digestión anaerobia .....	18
2.2.3. Teoría del biogás .....	19
2.3. Bases conceptuales .....	20
2.3.1. Biodigestor .....	20

2.3.2.	Digestión anaerobia .....	26
2.3.3.	Factores que afectan el proceso de la digestión .....	35
2.3.4.	Estiércol .....	42
2.3.5.	Productos de la digestión anaerobia .....	47
2.3.6.	Metano .....	52
2.4.	Definición de términos.....	54
2.5.	Hipótesis.....	57
2.5.1.	Hipótesis general .....	57
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	57
2.6.	Variables .....	57
2.7.	Operacionalización de variable .....	58
CAPÍTULO III .....		59
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		59
3.1.	Ámbito temporal y espacial.....	59
3.1.1.	Ámbito temporal:.....	59
3.1.2.	Ámbito espacial .....	61
3.2.	Tipo de investigación.....	63
3.3.	Nivel de investigación.....	63
3.3.1.	Método de investigación .....	63
3.3.2.	Diseño de investigación .....	64
3.4.	Población, muestra y muestreo.....	66
3.4.1.	Población.....	66
3.4.2.	Muestra .....	66
3.4.3.	Muestreo.....	68
3.5.	Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	69
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos.....	69
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	75
3.6.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos .....	81
3.6.1.	Técnicas de análisis de datos.....	81
3.6.2.	Procesamientos de análisis de datos .....	82
CAPÍTULO IV .....		84
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....		84
4.1.	Análisis de información .....	84

4.1.1.	Parámetros de monitoreo .....	85
4.1.2.	Comparación de parámetros de monitoreo .....	93
4.1.3.	Producción de biogás .....	95
4.2.	Prueba de normalidad .....	96
4.2.1.	Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura ambiental.....	96
4.2.2.	Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura .....	98
4.3.	Prueba de hipótesis .....	99
4.3.1.	Prueba de hipótesis para los objetivos .....	100
4.4.	Discusión de resultados.....	109
CONCLUSIONES .....		113
RECOMENDACIONES .....		114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		115
APÉNDICE .....		121
Apéndice 1: Matriz de consistencia .....		122
Apéndice 2: Tablas de resultados.....		123
Apéndice 2.1: Registro de temperatura ambiental del biodigestor.....		123
Apéndice 2.2: Registro de temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.....		127
Apéndice 2.3: Registro de la producción del volumen diario a temperatura ambiental del biodigestor.....		131
Apéndice 2.3: Registro de la producción del volumen diario a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.....		135
Apéndice 3: Panel fotográfico .....		139
Apéndice 3.1: Focos de contaminación por la producción de estiércol de bovino en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.....		139
Apéndice 3.2: Recolección de la muestra de estiércol en el corral. ....		140
Apéndice 3.3: Construcción e instalación de la paleta. ....		141
Apéndice 3.4: Instalación de los accesorios en el reactor.....		142
Apéndice 3.5: Instalación para el efluente del biogás y biol.....		143
Apéndice 3.6: Construcción de la estructura para el acondicionamiento de la temperatura.....		144

Apéndice 3.7: Colocación del forro de plástico agro film en la estructura para el acondicionamiento de la temperatura .....	145
Apéndice 3.8: Construcción del cerco perímetro y colocación de la cama de Ichu para el acondicionamiento de la temperatura.....	146
Apéndice 3.9: Preparación del sustrato a base de agua y estiércol de bovino para el arranque del biodigestor.....	147
Apéndice 3.10: Medición del pH y temperatura dentro del biodigestor.....	148
Apéndice 3.11: Proyecto instalado y en ejecución.....	149
Apéndice 3.11: Recolección de datos .....	150
Apéndice 4: Ficha de recolección de datos M1 – M2 .....	152
Apéndice 5: Planilla climatológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.....	154
Apéndice 5.1: Planilla climatológica del SENAMHI – mes de julio de 2019. .	154
Apéndice 5.2: Planilla climatológica del SENAMHI – mes de agosto de 2019. ....	155
Apéndice 5.3: Planilla climatológica del SENAMHI – mes de setiembre de 2019. ....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación del sustrato para la digestión anaerobia.....	37
<b>Tabla 2.</b> Rangos de temperatura y tiempo de digestión anaeróbica.....	39
<b>Tabla 3.</b> Porcentajes de la composición del estiércol .....	46
<b>Tabla 4.</b> Composición química del biogás .....	48
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de metano en el estiércol .....	53
<b>Tabla 6.</b> Definición operativa de variables.....	58
<b>Tabla 7.</b> Cronograma de la investigación.....	60
<b>Tabla 8.</b> Producción diaria de excretas en el corral .....	66
<b>Tabla 9.</b> Relación estiércol - agua.....	67
<b>Tabla 10.</b> Registros de pH y temperatura para el arranque del biodigestor .....	73
<b>Tabla 11.</b> Resultados estadísticos de la temperatura ambiental del biodigestor.....	85
<b>Tabla 12.</b> Resultado estadístico de temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.....	87
<b>Tabla 13.</b> Resultado estadístico de las presiones a temperatura ambiental del biodigestor.....	89
<b>Tabla 14.</b> Resultado de presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.....	91
<b>Tabla 15.</b> Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura (°C) ambiental.....	97
<b>Tabla 16.</b> Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura (°C) con acondicionamiento de cobertura.....	98
<b>Tabla 17.</b> Escala de la correlación de Pearson.....	102
<b>Tabla 18.</b> Resumen de la correlación de Pearson para la prueba de hipótesis estadística general.....	103
<b>Tabla 19.</b> Resumen de la prueba de Z para la hipótesis estadístico general .....	104
<b>Tabla 20.</b> Resumen de la correlación de Pearson para la prueba de hipótesis estadística específica 1.....	104
<b>Tabla 21.</b> Resumen de la prueba de Z para la hipótesis estadístico específico 1 .....	105
<b>Tabla 22.</b> Resumen de la correlación de Pearson para la prueba de hipótesis estadística específica 2.....	105
<b>Tabla 23.</b> Resultado de la prueba de Z para la hipótesis estadístico específico 2 ...	106
<b>Tabla 24.</b> Matriz de consistencia. ....	122
<b>Tabla 25.</b> Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de julio .....	123
<b>Tabla 26.</b> Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de agosto .....	124
<b>Tabla 27.</b> Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de setiembre .....	125
<b>Tabla 28.</b> Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de octubre.....	126
<b>Tabla 29.</b> Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de	

cobertura del biodigestor en el mes de julio .....	127
<b>Tabla 30.</b> Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de agosto .....	128
<b>Tabla 31.</b> Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de setiembre .....	129
<b>Tabla 32.</b> Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de octubre.....	130
<b>Tabla 33.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de julio .....	131
<b>Tabla 34.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de agosto.....	132
<b>Tabla 35.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de setiembre.....	133
<b>Tabla 36.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de octubre .....	134
<b>Tabla 37.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de julio.....	135
<b>Tabla 38.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de agosto.....	136
<b>Tabla 39.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de setiembre	137
<b>Tabla 40.</b> Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de octubre ...	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Biodigestores portátiles. ....	21
<b>Figura 2.</b> Biodigestor de flujo continuo. ....	22
<b>Figura 3.</b> Biodigestor de modelo hindú. ....	23
<b>Figura 4.</b> Biodigestor de modelo chino. ....	23
<b>Figura 5.</b> Biodigestor de modelo Taiwán. ....	24
<b>Figura 6.</b> Biodigestor de flujo discontinuo. ....	25
<b>Figura 7.</b> Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos. ....	39
<b>Figura 8.</b> Ubicación geográfica del departamento de Huancavelica. ....	61
<b>Figura 9.</b> Ubicación geográfica del centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica. ....	62
<b>Figura 10.</b> Ubicación geográfica de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande. ....	62
<b>Figura 11.</b> Composición del biodigestor para el arranque de la digestión anaerobia. ....	68
<b>Figura 12.</b> Biodigestor discontinuo con agitador central. ....	70
<b>Figura 13.</b> Termómetro Sh-110 BOECO. ....	76
<b>Figura 14.</b> Termómetro tipo T con vástago BOECO. ....	77
<b>Figura 15.</b> Medidor portátil de pH mV - HI8424. ....	78
<b>Figura 16.</b> Manómetro de aire (enzo-sf). ....	79
<b>Figura 17.</b> Manómetro digital de presión DPGM8001-10. ....	80
<b>Figura 18.</b> Ficha de recolección de datos a temperatura ambiental. ....	80
<b>Figura 19.</b> Ficha de recolección de datos a temperatura con acondicionamiento de cobertura. ....	81
<b>Figura 20.</b> Registro de la temperatura ambiental del biodigestor. ....	86
<b>Figura 21.</b> Registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor. ....	88
<b>Figura 22.</b> Registro de presiones a temperatura ambiental del biodigestor. ....	90
<b>Figura 23.</b> Registro de presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor. ....	92
<b>Figura 24.</b> Registro de la temperatura ambiental comparada con la temperatura con acondicionamiento de cobertura. ....	93
<b>Figura 25.</b> Registro de la presión a temperatura ambiental comparada con la presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura. ....	94
<b>Figura 26.</b> Registro del volumen del biogás a temperatura ambiental comparada con el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura. ....	95
<b>Figura 27.</b> Histograma de la prueba de normalidad de la producción de biogás a temperatura ambiental. ....	97
<b>Figura 28.</b> Histograma de la prueba de normalidad de la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura. ....	99
<b>Figura 29.</b> Campana de Gauss para la prueba de hipótesis. ....	103

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

<b>Fotografía 1.</b> Contaminación por aguas residuales del corral de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande. ....	139
<b>Fotografía 2.</b> Contaminación por estiércol seco de bovino.....	139
<b>Fotografía 3.</b> Recolección de la muestra de 10 bovinos durante 10 días.....	140
<b>Fotografía 4.</b> Recolección y etiquetado de la muestra.....	140
<b>Fotografía 5.</b> Orden y pesado de las muestras.....	140
<b>Fotografía 6.</b> La paleta fue soldada a un tubo, para luego colocarlo en los rodajes así pueda girar dentro del prototipo. ....	141
<b>Fotografía 7.</b> Se realizó 4 agujeros en la tapa del biodigestor para colocar la paleta ya unida con la manija. ....	141
<b>Fotografía 8.</b> Presentación de la paleta ya construida. ....	141
<b>Fotografía 9.</b> Colocación del adaptador con pegamento en la tapa del prototipo. ...	142
<b>Fotografía 10.</b> Todas las uniones de los accesorios fueron hermetizadas con teflón y pegamento, evitando fugas durante todo el proceso de recolección de datos. ....	142
<b>Fotografía 11.</b> Presentación de los dos biodigestores con todos los accesorios.....	142
<b>Fotografía 12.</b> Se realizó un agujero en el prototipo, para la colocación de la llave de paso para la obtención de biol. ....	143
<b>Fotografía 13.</b> Presentación del prototipo con la llave para la salida de biol y la colocación de la bolsa para el almacenamiento de biogás.....	143
<b>Fotografía 14.</b> La colocación de la bolsa de almacenamiento se hizo con teflón y pegamento, evitando fugas de biogás durante todo el proceso de recolección de datos.....	143
<b>Fotografía 15.</b> Se cortó los cuartones para la construcción de la estructura para el acondicionamiento de temperatura. ....	144
<b>Fotografía 16.</b> Las uniones de la estructura se realizaron con clavos de 2 pulgadas, siendo esta firme y consistente. ....	144
<b>Fotografía 17.</b> Presentación de la estructura para el acondicionamiento de temperatura.....	144
<b>Fotografía 18.</b> Se realizó el forrado de la estructura con plástico agrofilm de 6 m de largo y 1.5 m de ancho. ....	145
<b>Fotografía 19.</b> Presentación de la estructura completamente forrado, que fue realizado con chinchas – clavos.....	145
<b>Fotografía 20.</b> Se realizó el reforzamiento del forro luego que la temperatura no era constante ni adecuada para la producción de biogás. ....	145
<b>Fotografía 21.</b> Se realizó 4 agujeros para la colocación de cuartones, para el cerco perimétrico de los 2 biodigestores. ....	146
<b>Fotografía 22.</b> Presentación de los cuartones para el cerco perimétrico y la instalación de la cama de Ichu para el biodigestor con acondicionamiento de temperatura. ....	146
<b>Fotografía 23.</b> Presentación de la cama de Ichu y cobertura alrededor del biodigestor,	

	así mantuvo una temperatura interna adecuada para la producción de biogás. ....	146
<b>Fotografía 24.</b>	Se colocó 22.5 L de agua y se pesó 22.5 kg de excretas bovino para la preparación del sustrato.....	147
<b>Fotografía 25.</b>	Se colocó 22.5 kg de excretas de bovino y se procedió al mezclado del sustrato dentro del biodigestor, contando con una mezcla homogénea. ....	147
<b>Fotografía 26.</b>	Presentación se los biodigestores ya instalados a temperatura ambiental y a temperatura acondicionada. ....	147
<b>Fotografía 27.</b>	Calibración del pH metro para proceder a medir el sustrato dentro del biodigestor.....	148
<b>Fotografía 28.</b>	Medición del pH dentro del biodigestor para ya poner en funcionamiento y realizar la recolección de datos.....	148
<b>Fotografía 29.</b>	Proyecto ya instalado para la producción de biogás en la Estación Experimental Callqui Grande. ....	149
<b>Fotografía 30.</b>	Presentación del cartel del proyecto en ejecución en la Estación Experimental Callqui Grande. ....	149
<b>Fotografía 31.</b>	Recolección de datos de presión y temperatura a condiciones ambientales. ....	150
<b>Fotografía 32.</b>	Recolección de datos de presión y temperatura en la estructura con acondicionamiento. ....	150
<b>Fotografía 33.</b>	Estación meteorológica SENAMHI – Huancavelica – Callqui Grande.....	151

## RESUMEN

El presente estudio, se realizó debido a que los residuos de la producción ganadera ocasionan impactos negativos al ambiente, teniendo como objetivo evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande – Huancavelica, donde se monitoreo desde el 7 de julio al 15 de octubre; se diseñó y construyó un prototipo de biodigestor discontinuo (tipo Batch) a la cual se le adicionó un agitador central o hélice obteniendo una mezcla homogénea de las excretas y el agua adicionada; para la determinación de la muestra se realizó durante 10 días con 10 bovinos obteniendo así 22.5 kg de excretas, para la mezcla del sustrato se trabajó con la relación 1:1 de estiércol-agua, la composición del biodigestor fue: 75 % de sustrato, 20 % de biogás y 5 % por seguridad del prototipo; se utilizó la técnica observacional estructurada mediante fichas de registro e instrumentos, siendo estos instrumentos termómetros: Sh-110 BOECO - calidad A1, manómetros de aire (enzo-sf) y manómetros digital de presión DPG8001-10. Los resultados fueron analizados utilizando la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk y para la prueba de hipótesis se utilizó el estadístico del coeficiente de correlación de Karl Pearson ( $r_{xy}$ ) y el estadígrafo de prueba Z con un nivel de confianza del 95 %, donde se evidenció que la temperatura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás. Así mismo, se concluyó que a temperatura ambiental se obtuvo una producción de biogás en un periodo de 30 días iniciando a los 71 días de instalación con un volumen acumulado de 6.8 L de biogás mientras que a temperatura con acondicionamiento de cobertura se obtuvo una producción de biogás en un periodo de 45 días iniciando a los 55 días de instalación con un volumen acumulado de 15.8 L de biogás.

**Palabras claves:** biodigestor, excretas de bovino, producción de biogás, temperatura ambiental y temperatura con acondicionamiento de cobertura.

## ABSTRACT

The present study was carried out because the residues of livestock production cause negative impacts to the environment, with the objective of evaluating the influence of the temperature on the production time of biogas from bovine excreta in the Agricultural Experimental Station Callqui Grande - Huancavelica , where it was monitored from July 7 to October 15; a prototype of a discontinuous biodigester (Batch type) was designed and built to which a central stirrer or propeller was added, obtaining a homogeneous mixture of excreta and added water; for the determination of the sample, it was carried out for 10 days with 10 cattle thus obtaining 22.5 kg of excreta, for the mixture of the substrate we worked with the 1: 1 ratio of manure-water, the composition of the biodigester was: 75% of substrate, 20% biogas and 5% for prototype safety; The observational technique structured by means of registration cards and instruments was used, these instruments being thermometers: Sh-110 BOECO - quality A1, air pressure gauges (enzo-sf) and digital pressure gauges DPG8001-10. The results were analyzed using the Shapiro-Wilk normality test and for the hypothesis test the Karl Pearson correlation coefficient statistic ( $r_{xy}$ ) and the Z test statistic with a 95% confidence level were used, where evidenced that the temperature has a significant influence on the biogas production time. Likewise, it was concluded that at room temperature a biogas production was obtained in a period of 30 days beginning at 71 days of installation with a cumulative volume of 6.8 L of biogas while at temperature with coverage conditioning a production of biogas in a period of 45 days starting at 55 days of installation with an accumulated volume of 15.8 L of biogas.

**Keywords:** biodigester, bovine excreta, biogas production, ambient temperature and temperature with coverage conditioning.

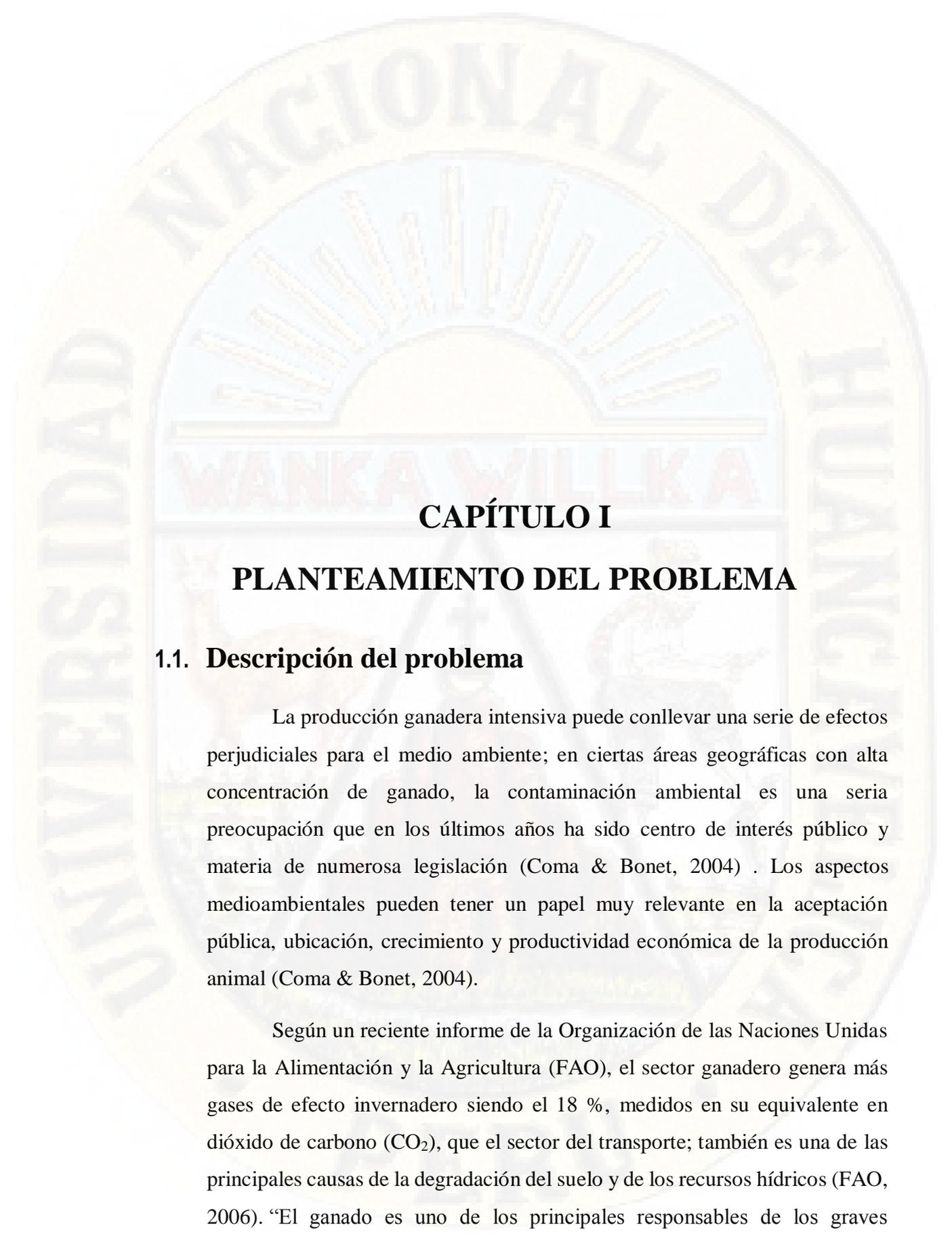
## INTRODUCCIÓN

La producción ganadera intensiva puede conllevar una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente, según un reciente informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector ganadero genera más Gases de Efecto Invernadero siendo el 18 %, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (FAO, 2006).

En términos de peligrosidad, la contribución global del metano es muy alta, debido al mayor potencial de calentamiento global que este tiene (25 veces mayor que el CO<sub>2</sub>); es por ello que los proyectos de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), relacionados con el manejo de estiércoles y el tratamiento de aguas residuales son de particular importancia en América Latina, y que representan más del 25 % de los proyectos desarrollados en el marco de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) en la región y el 40 % de todos los proyectos de este tipo a nivel mundial (Luna, 2018).

La importancia de empezar a utilizar fuentes renovables y/o menos contaminantes de energía y otros métodos de desarrollo limpio, recae en que la acumulación de residuos sólidos orgánicos está alcanzando niveles críticos en casi todas las regiones del mundo; y estos requieren ser manejados sosteniblemente para mitigar las cargas ambientales, y reducir el riesgo para la salud humana, de modo que se mantenga un equilibrio en el ecosistema y se evite el agotamiento de los recursos (Luna, 2018).

Por eso se planteó el siguiente problema ¿Cuál es la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica? con el objetivo de evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino, el estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande debido a que genera residuos ganaderos (excretas de bovino) siendo este un foco de contaminación; con el proyecto de tesis realizado se contribuye a la reducción de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero mediante el aprovechamiento de biomasa y generando biogás que es utilizada como energía renovable.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a large, semi-circular emblem. It features a central sun with rays, a banner below it with the text 'WANKA WILKA', and a shield at the bottom containing a figure. The words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' are written around the perimeter of the emblem.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

La producción ganadera intensiva puede conllevar una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente; en ciertas áreas geográficas con alta concentración de ganado, la contaminación ambiental es una seria preocupación que en los últimos años ha sido centro de interés público y materia de numerosa legislación (Coma & Bonet, 2004) . Los aspectos medioambientales pueden tener un papel muy relevante en la aceptación pública, ubicación, crecimiento y productividad económica de la producción animal (Coma & Bonet, 2004).

Según un reciente informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector ganadero genera más gases de efecto invernadero siendo el 18 %, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que el sector del transporte; también es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos (FAO, 2006). “El ganado es uno de los principales responsables de los graves

problemas medioambientales de hoy en día, se requiere una acción urgente para hacer frente a esta situación” (FAO, 2006).

El estiércol o excreta generado en los sistemas ganaderos puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales (Pinos et al., 2012).

Las poblaciones rurales a nivel mundial son las más perjudicadas, el 37% de ellas no acceden a energía eléctrica; sin embargo, aun cuando la brecha existe, es importante destacar el avance en la cobertura que ha pasado de 24.4 % personas con energía eléctrica en el 2001 a 63 % en el 2012, sólo en poblaciones rurales; de igual manera el avance en el Perú ha sido en el mismo período de tiempo de 69.8 % a 89.7 %, según cifras de Osinergmin (ProExpansión, 2014).

La mayor parte de las poblaciones que no acceden a energía eléctrica se encuentran en América Latina, África y Asia, en Sudamérica Bolivia es el país con menor acceso a electricidad, dónde el 13.2 % de su población aún no cuenta con luz y calefacción en sus hogares y Perú le sigue muy de cerca en segundo lugar con el 10.3 % de su población, es decir más de 3 millones de peruanos sin electricidad, según cifras de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) (ProExpansión, 2014).

De acuerdo con datos del INEI (2012), más del 50 % de los hogares de las zonas rurales utilizan leña para cocinar, mientras que un 20 % adicional la usa junto a otros combustibles como el gas (gas licuado de petróleo y natural) y carbón; para la mayoría de estas familias, la leña y otros combustibles sólidos provenientes de la biomasa (como excretas de ganado y residuos agrícolas) son recursos gratuitos; éstos al ser quemados, emiten partículas y humos nocivos que causan problemas de salud como: infecciones agudas de las vías respiratorias (pneumonía), bronquitis crónica, cáncer pulmonar, cataratas, entre

otros; además de estos riesgos para la salud, pueden darse problemas de deforestación causados por el uso excesivo de la leña (Arrieta, 2016).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Qué influencia tiene la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica?
- b) ¿Qué influencia tiene la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la influencia que tiene la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.
- b) Determinar la influencia que tiene la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de

biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

#### **1.4. Justificación**

En la región de Huancavelica el 85 % de las familias campesinas se dedican a la actividad agropecuaria (Programa de Promoción Social Internacional – Gobierno Regional de Huancavelica), ocupando el cuarto lugar a nivel nacional con un 8 % en población de alpacas (302,609 animales) y 6,726 unidades agropecuarias ya que esta especie tiene una gran importancia socio económicas para nuestra región (INEI, 2012).

Los bovinos poseen un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, la carne y la leche; sin embargo, por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18 % del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO<sub>2</sub> (Carmona et al., 2005).

La problemática que se viene presentado se da por la gran cantidad de estiércol producido por el ganado que no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, lo cual implica un foco de infección latente perjudicial para la comunidad en general; gran cantidad de estiércol se deposita en las tierras de cultivo que sirve para mejorar su calidad, así como para obtener mejores cosechas; sin embargo esta práctica tiene un inconveniente, el estiércol tarda aproximadamente un año en degradarse y poder ofrecer todos sus nutrientes de manera asimilable (Vera et al., 2015).

La producción de biogás es un modo útil de tratar residuos biodegradables y a su vez puede ser utilizado para diversas aplicaciones tales como: producción de energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas (combustible), en hornos para el calentamiento, en diversos procesos

industriales, en estufas para usos domésticos, calderas, u cualquier sistema de combustión a gas que previamente han sido adaptados para tal efecto (Hidalgo et al, 2010).

Por ello en la presente investigación se construyó 2 biodigestores discontinuo (tipo Batch) a los cuales se le adicionó un agitador central, se utilizó como materia orgánica las excretas de bovino con la finalidad de evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás, alcanzando una serie de objetivos importantes:

- a) Reducir las emisiones que produce las excretas de bovino, lo que disminuirá los Gases de Efecto Invernadero.
- b) Reaprovechar las excretas, dando una disposición final adecuada lo que evitará la contaminación del suelo, aire y agua.
- c) Obtención de biogás a partir de excretas de bovino.
- d) Obtención de bioabono y biol, lo que permitirá la fertilización y mejora del suelo.

El presente trabajo de investigación fue orientado a la evaluación de la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás, así como determinar: la influencia de la temperatura ambiental y la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás, los parámetros ambientales durante el proceso de la digestión anaerobia; con el fin de disminuir los efectos negativos y contaminantes de gases; para poder conllevar al desarrollo del centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica y por ende de nuestro país, así como mejorar la calidad de vida de las personas primordialmente de los afectados directamente por la problemática.

## **1.5. Limitaciones**

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande – Huancavelica. Por ende, la investigación se limita en un espacio geográfico de clima frio y seco, con

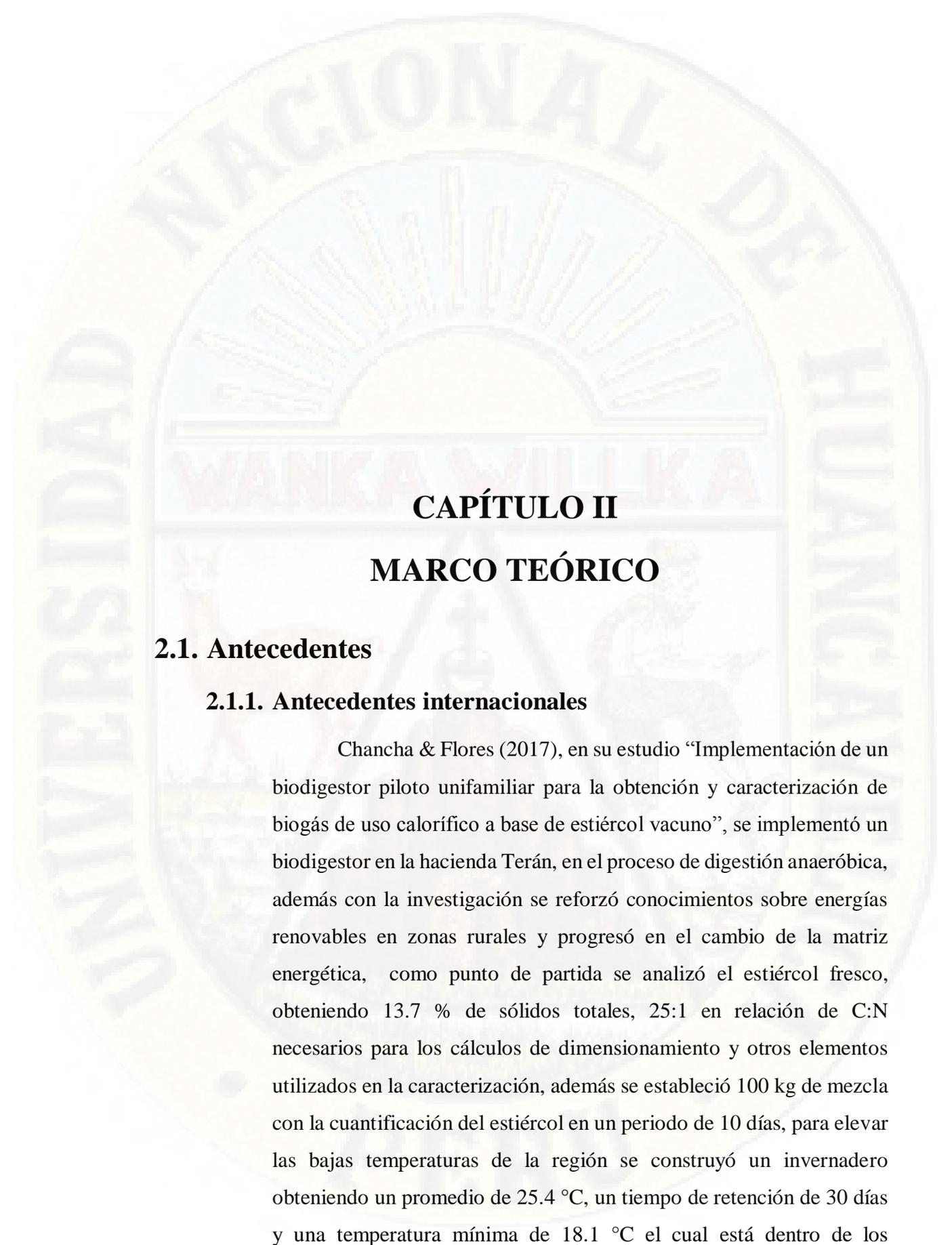
similares condiciones ambientales al del centro poblado de Callqui Grande ubicada a 3,701 m.s.n.m.

### **Durante la recopilación de información**

- 🇵🇪 En la recopilación de información relacionado al tema de investigación, se encontraron pocos artículos que traten sobre la producción de biogás en zonas de temperaturas bajas como la de Huancavelica.

### **Durante la instalación de los prototipos**

- 🇵🇪 Al instalar el prototipo con acondicionamiento de cobertura, para lo cual se diseñó una estructura de madera forrada con plástico agrofilm, se observó que: durante la recolección de datos por un periodo de 3 días la temperatura dentro de dicha estructura no era la adecuada ni se mantenía constante ya que la diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura con acondicionamiento de cobertura era de 0.4 °C; por tal motivo se agregó un forro de plástico negro para aumentar, mantener y obtener una temperatura adecuada.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a large, semi-circular emblem. It features a central sun with rays, a banner with the word 'WANKAYILKA', and a shield below containing a figure. The text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' is written around the perimeter of the emblem.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Chancha & Flores (2017), en su estudio “Implementación de un biodigestor piloto unifamiliar para la obtención y caracterización de biogás de uso calorífico a base de estiércol vacuno”, se implementó un biodigestor en la hacienda Terán, en el proceso de digestión anaeróbica, además con la investigación se reforzó conocimientos sobre energías renovables en zonas rurales y progresó en el cambio de la matriz energética, como punto de partida se analizó el estiércol fresco, obteniendo 13.7 % de sólidos totales, 25:1 en relación de C:N necesarios para los cálculos de dimensionamiento y otros elementos utilizados en la caracterización, además se estableció 100 kg de mezcla con la cuantificación del estiércol en un periodo de 10 días, para elevar las bajas temperaturas de la región se construyó un invernadero obteniendo un promedio de 25.4 °C, un tiempo de retención de 30 días y una temperatura mínima de 18.1 °C el cual está dentro de los

parámetros establecidos para la generación de biogás. Con estos parámetros se dimensionó una biobolsa de 4.25 m<sup>3</sup>, se realizó pruebas de cocción al biogás y al gas licuado de petróleo hasta los 80 °C obteniendo mayor tiempo el biogás y se le recomendó a la familia la aplicación y difusión del proyecto por todo el sector, y que los residuos diarios del biodigestor sean aprovechados en las siembras, ya que les sirve como biofertilizante.

Criollo & Guzman (2014), en su investigación “Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo”, Riobamba, Ecuador, se diseñó un biodigestor tubular, que fue colocado en una zanja de aislamiento térmico ubicada a 8.3 m y 1.2 m de distancia entre la vivienda y el establo respectivamente, durante los 46 días de monitoreo se controló temperatura, presión y pH; en el proceso de producción de biogás, incluyendo pruebas de olor y color de la llama, bajo las siguientes condiciones: carga diaria 58.3 kg/día, temperatura media anual 13.5 °C, tiempo de retención 39 días, dilución agua: estiércol (1:1); se diseñó un biodigestor cuyas dimensiones son: longitud 4.7 m diámetro 1.27 m, volumen total 6.3 m<sup>3</sup>, el aislamiento térmico permitió incrementar la temperatura interna 3-5 °C días fríos y 15-20 °C días soleados, concluyendo que la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1.5 m<sup>3</sup> que proporcionan 1.68 horas de llama encendida, consiguiendo hervir una olla con 40 litros de agua en 48 minutos.

Toala (2013), en su investigación “Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica”, describe como objetivo: realizar el diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica en el año 2013, metodología: el dimensionamiento del equipo se realiza a través de la construcción de un biodigestor a escala piloto utilizando el método cuantitativo para

determinar los componentes principales del diseño, resultados y conclusión: se concluye que el tiempo de retención estimado para la producción de biogás y biofertilizante de acuerdo al prototipo realizado es de 40 días, con lo que se garantiza la funcionalidad del diseño y la generación de los productos de la digestión anaerobia.

Suntásig (2010), en su investigación “Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría (bovinos, porcinos y vacunos) en la finca de Autoconsumo del Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas Federico Engels”, objetivo: diseñar el biodigestor que logre el aprovechamiento energético de la finca del IPVCEFE, hipótesis: se logra estimar el potencial de excreta y seleccionamos el tipo de biodigestor para aprovechar la excreta que permita el aprovechamiento energético, resultado y conclusión: al aprovechar la excreta generada por los animales en el biodigestor, según cálculos se generan 12 m<sup>3</sup> de biogás por día.

Pérez (2010), en su investigación “Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros”, objetivo: diseñar un biodigestor que cumpla con las necesidades energéticas de los pequeños ganaderos y lecheros presentes en las zonas rurales del sur de Chile y que sea técnica y económicamente viable, metodología: comienza con una serie de análisis elementales que caracterizan el usuario medio del equipo, la demanda esperada, la cinética de los procesos bioquímicos presentes, las consideraciones de geometría y espacio utilizado, resultado: de esta memoria es un equipo de biodigestión anaeróbica que procesa 59 (m<sup>3</sup>/mes) de purines de bovino y produce 4.1 (m<sup>3</sup>/hora) promedio de biogás, se contempló la incorporación de un equipo generador eléctrico que es alimentado por un caudal compatible de biogás y que permite que la energía eléctrica sea aprovechable.

Osorio et al. (2007), en su investigación “Evaluación de un sistema de biodigestor en serie para climas fríos”, en el estudio, se evaluó en la etapa de estabilización el funcionamiento de un sistema en serie, de dos biodigestores de cúpula fija GTZ y uno tipo Taiwán en clima frío, además, de encontrar los factores que determinan su funcionamiento, como lo son la producción de biogás, pH, temperaturas del afluente y del efluente, y su eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST; se encontró una producción de biogás similar a la de biodigestores de alta tasa con una relación 3:1 entre volumen de biogás y volumen de biodigestor, remociones promedio de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST de 97.4 %, 96.1 % y 95.1 % respectivamente, y pH a la salida cercanos a la neutralidad, cuyos resultados son un indicativo de la alta eficiencia del sistema tanto en producción de biogás, como en remoción de carga contaminante.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Luna (2018), en su investigación “Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo Batch para excretas provenientes de ganado vacuno, camélido y equino de la universidad científica del sur”, se evaluaron los efectos de la temperatura al interior de los biodigestores, el pH y la proveniencia animal de los estiércoles con respecto al tiempo de retención y la concentración de metano en el biogás producido, se identificó que, al ser operados a la intemperie, en temperaturas promedio de entre 20 °C y 30 °C, la operación de los biodigestores se mantuvo dentro del rango mesófilo, brindándole estabilidad al proceso y alargándose por espacio de 50 días, en cuanto al pH, los valores registrados concordaron con lo descrito por diversos autores como rangos de funcionamiento adecuados, entre 5.2 y 6.3 para las primeras dos etapas (hidrólisis y acidogénesis), 6.5 y 7.6 para las últimas dos (acetogénesis y metanogénesis) por lo que no supusieron problema alguno, finalmente la mayor concentración de metano en el biogás producido se obtuvo en el tratamiento con excretas de ganado

vacuno (T1), el cual logró una media de 46.67 %, seguido del tratamiento con excretas de ganado equino (T3) con 44.54 % y el tratamiento con excretas de ganado camélido (T2) con 41.33 %, de esta manera, si bien se observó que el potencial energético del biogás producido con excretas de ganado vacuno es mayor, en términos generales cualquier residuo agropecuario es capaz de generar energía, por lo que la digestión anaerobia de estos surge como una alternativa ambientalmente viable para la generación de energía renovable, permitiendo reducir la huella de carbono que esta actividad tiene sobre nuestro planeta.

España (2018), en su investigación “Aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás como propuesta al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja Ecológica Linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco”, la presente investigación consiste en realizar el diseño de biodigestor tipo discontinuo de polietileno, para el manejo adecuado de los residuos pecuarios de la Granja Ecológica Lindero, contribuyendo a la conversión y producción de residuos pecuarios (biomasa) en diversas formas de energía, mediante reacciones bioquímicas; el diseño y la construcción del biodigestor a escala piloto permite desarrollar el proceso anaeróbico, como método de tratamiento de residuos pecuarios, para la producción de biogás, estabilizándola completamente los componentes de la materia orgánica, descomponiéndolo en compuestos asimilables para el medio ambiente.

Basauri & Terrones (2018), en su investigación “Producción de biogás utilizando contenido ruminal, como alternativa de plan de manejo ambiental de los residuos orgánicos generados en el Camal Municipal de Cajamarca”, la presente investigación tiene por objetivo determinar si la producción de biogás utilizando contenido ruminal es una alternativa efectiva para el plan de manejo ambiental de los residuos orgánicos generados en el Camal Municipal de Cajamarca,

planteándose una hipótesis afirmativa, para comprobar la hipótesis se instaló y operó del biodigestor tubular anaeróbico con una carga de 20 kg diarios por un periodo de 30 días, al finalizar el periodo de tiempo, se obtuvo un resultado de 0.000336 m<sup>3</sup> (0.336 litros) de biogás, por lo que se concluyó que, si es una alternativa altamente eficiente para ser considerada en los planes de manejo ambiental, de los residuos orgánicos generados en el Camal Municipal de Cajamarca, pero económicamente no es rentable su producción por su alto costo de producción y la cantidad de biogás producido, se deben considerar otros aspectos (climáticos, tecnológicos, técnicos, entre otros) para optimizar los resultados.

Lazarte (2016), en su investigación “Implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y abono orgánico a partir del estiércol de ganado en la hacienda Los Olivos”, la presente investigación consiste en implantar un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás y abonos orgánicos a partir del estiércol de ganado en la hacienda Los Olivos, ubicado en Mollendo en la provincia de Islay, departamento de Arequipa, la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica puede permitir obtener importantes beneficios económicos, ambientales y energéticos, en conclusión, cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera: se estima que la pérdida de energía se pierde y se libera a la atmósfera, se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico, en el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo: alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son utilizados con fines energéticos.

Paucar & Quispe (2015), en su investigación “Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la granja V.A. Velebit S.A.C. ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica”, el presente estudio se basa en la elaboración de un biodigestor anaerobio de 80 litros de capacidad, y la puesta en funcionamiento por 13 semanas con una proporción de 1/5 de agua y sólidos totales respectivamente, teniendo como sustratos la codornaza en etapa de postura y levante, la chala de maíz; fueron dos tratamientos que iniciaron con una relación C/N = 30/1, se evaluaron en el proceso la temperatura interior del reactor y el pH, así como el volumen de producción y calidad del biogás; los resultados fueron los siguientes: el pH tuvo valores óptimos entre 6 a 8, la temperatura interior del proceso fue mayormente psicrófila (entre 18 °C a 25 °C) y algunos resultados estuvieron en el rango mesófilo (25 °C - 27.2 °C), estos rangos de temperatura no son óptimos para la producción de biogás (30 °C – 35 °C), los valores máximos de porcentaje de metano en el biogás encontrados fueron 44.6 % y 40 %, lo que indica que estos no llegaron a tener buena calidad (50 %) probablemente por el comportamiento de la temperatura, puede deberse también por la presencia de oxígeno, la baja actividad metanogénica del inóculo o por el porcentaje de sólidos totales.

Vega (2015), en su investigación “Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semi-continuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi”, objetivo: obtener biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy en un biodigestor semi-continuo; resultado: se obtuvo biogás, con una producción total de 6 m<sup>3</sup>, con una velocidad de producción de 0.194 m<sup>3</sup>/día y una concentración de metano del 55 % dentro de la composición del biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo.

Apaza (2013), en su investigación “Compostaje y biodigestion con sub productos del Camal en Puno”, la investigación tuvo como objetivo determinar el método más adecuado de elaboración de compost y biodigestión con sub productos del Camal, el estudio se desarrolló en la comunidad de Capullani, Puno, a 4,062 m.s.n.m., entre marzo y mayo de 2013, caracterizamos los sub productos del camal, evaluamos dos métodos de compostaje, dos métodos de biodigestión y evaluamos la calidad de los productos finales, el compost 1 y 2, no mostró diferencias estadísticas en pH, conductividad, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, potasio total, sodio, fosforo total, relación C/N, coliformes fecales y salmonella sp, en los procesos de biodigestión se registró una fermentación psicrófila y mesófila, el biol 1 y 2, mostraron diferencias en niveles de nitrógeno total de 0.05, 0.13 %; potasio total 2.04, 5.7 %; sodio 6.48, 8.40 % y relación C/N 1123.05, 430.06, respectivamente, los tratamientos no influyeron sobre los niveles de materia orgánica en todos los productos de la biodigestión; en el biosol 1 y 2 los tratamientos no influyeron sobre los niveles de humedad 79.01 % y 77.02 %, nitrógeno total 2.24 % y 2.18 %, potasio total 16.56 % y 17.10 %, sodio 12.72 % y 13.72 %, y relación C/N 24.5 y 25.0, respectivamente; obteniéndose una baja concentración de metales; el segundo tratamiento de biodigestión presentó una mayor concentración de nutrientes en sus productos y una mayor remoción de coliformes fecales.

Salazar et al. (2012), en su investigación “Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado en la ciudad de Tacna”, se diseñó, construyó y evaluó el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m tipo manga de polietileno, utilizando adobe en las paredes de la zanja, acolchonado por una manta de sacos y revestido por un cobertor negro lo que ayuda a mantener cálido el sistema, alimentado con estiércol fresco de ganado bovino, se evaluó el sistema en los meses de marzo y abril del 2011, donde se controló el pH del lodo, producción de biogás

diaria, temperatura de la manga en tres regiones y la temperatura ambiental, el tiempo de retención inicial fue de 30 días, produciendo posteriormente biogás en forma diaria con un promedio de 400 litros/día con un rango de temperatura del biodigestor entre 30 °C a 40 °C oscilando la temperatura ambiente entre 20 °C y 30 °C durante los meses de evaluación, se encontró que en Tacna predominan los biodigestores caseros tipo chino de 5 m<sup>3</sup> de capacidad en promedio, los cuales fueron construidos hace más de quince años atrás y alimentados por excretas de ganado bovino.

Almanza (2011), en su investigación “Construcción y evaluación de un biodigestor modelo chino mejorado para zonas andinas”, objetivo: diseñar, construir y evaluar un "biodigestor modelo chino mejorado para zonas andinas", para evitar las fallas estructurales y optimizar la producción de gas, bioabono y biol, empleando diferentes tipos de materia orgánica; hipótesis: un biodigestor "modelo chino mejorado para zonas andinas" con mampostería de ladrillo, refuerzo de fierro, aislamiento térmico en suelo y paredes, dentro de un invernadero, incrementa la inercia térmica del sistema, mejorando la eficiencia de producción de gas, biol y bioabono; resultado: el tiempo de conversión de biodigestor y producción de biogás en un biodigestor mejorado estructuralmente, con aislamiento e invernadero oscila entre 60 a 65 días en una altitud de 3,340 m.s.n.m.

### **2.1.3. Antecedente regionales**

Rojas et al. (2016), en su investigación “Diseño y construcción de un biodigestor tubular a base de excretas de alpaca a una altura de 4,200 m.s.n.m.”, el proyecto se desarrolló en la puna del distrito de Masma, provincia de Jauja, región Junín, Perú; el 23 de julio de 2015 se instaló y se cargó el reactor de PVC (policloruro de vinilo) de 6 m<sup>3</sup> y se protegió con un invernadero semienterrado totalmente cubierto; en la base se colocó un colchón de ichu (*Stipa ichu*) y tecnoport

(poliestireno expandido), las paredes superiores fueron hechas de piedra y barro, el techo consta de: un plástico de invernadero, encima una geomembrana de polietileno y cubierto con calaminas, se utilizó un cultivo inicial de bacterias de ganado vacuno se estimó un período de retención hidráulica de 70 días.

Camarena (2012), en su investigación “Estudio de la influencia del tiempo de fermentación en la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno”, objetivo: estudiar la influencia del tiempo de fermentación durante el proceso de obtención de biogás a partir de excretas de ganado vacuno, se consideró como niveles de tiempo de retención en el biodigestor a 10 días, 20 días y 30 días, respectivamente.

Pautrat (2010), en su investigación “Diseño de biodigestor y producción de biogás con excremento vacuno en la Granja Agropecuaria de Yauris”, en el trabajo de investigación se realizó en la Granja Agropecuaria de Yauris de la Universidad Nacional del Centro del Perú, con el objetivo de construir e instalar un diseño de biodigestor tubular de plástico polietileno tipo invernadero, de forma triangular rectangular con estructura de madera; los parámetros funcionales con que trabaja el biodigestor son: temperatura, tiempo de retención hidráulica, relación de C/N (carbono, nitrógeno), la temperatura promedio de funcionamiento del biodigestor fue de 20.5 °C, del invernadero fue de 14.45 °C a horas 8:48 a.m. en promedio y de 26.69 °C a horas 4:33 p.m. en promedio y del ambiente fue de 5.24 °C a horas 8:48 en promedio y de 13.82 °C a horas 4.33 p.m. en promedio, el pH promedio del lodo del biodigestor fue de 6.9; la producción promedio total de 0.559 L de biogás/día con 3 m<sup>3</sup> de lodo en el biodigestor y por lo tanto se logró una producción de 0.186 L de biogás/m<sup>3</sup> de lodo/día.

#### **2.1.4. Antecedente local**

Huere et al. (2017), en su investigación “Producción de biogás en un prototipo de biodigestor a condiciones ambientales de

Huancavelica”, objetivos: determinar los parámetros ambientales óptimos en un prototipo de biodigestor discontinuo para la producción de biogás; hipótesis: la determinación de los diferentes parámetros ambientales en un prototipo de biodigestor discontinuo, es factible para la producción de biogás adecuado para su uso doméstico o industrial; resultado: se ha determinado bajo ciertos parámetros ambientales, el tiempo de retención óptimo de la biomasa dentro del biodigestor de 70 días con una producción de biogás conteniendo 56 % CH<sub>4</sub> y 34 % de CO<sub>2</sub>, valores que se encuentran dentro de los estándares teóricos de un biogás para su uso doméstico o industrial.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Teoría del biodigestor**

La teoría del biodigestor surgió en el año 1890 donde se construye el primer biodigestor a escala real en la India fomentando la producción de biogás y bioabono impulsados por la necesidad energética de campesinos para usarse como calefacción en invierno, eran apropiados para hogares aldeanos y alimentados con estiércol y desechos vegetales (Concyteg, 2006).

En 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad (Prosap, 2009).

Imhoff (1920), puso en práctica el primer tanque digestor en Alemania de los cuales posteriormente se hizo una difusión por todo el mundo.

Posterior a la primera y la segunda guerra mundial comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás, este producto se empleaba en tractores y automóviles de la época, el gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en

vehículos municipales y en algunas ciudades y se llegó a inyectar en la red de gas comunal (Ávila, 2009).

En 1930 el gobierno chino comienza a alentar la construcción de biodigestores para el hogar mayormente en las zonas rurales. Esto a raíz de que el problema no era para cubrir una necesidad energética sino sanitaria (Wang et al., 2016).

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundiéndose y desarrollándose de tal manera que en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones de biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala (Wang et al., 2016).

### **2.2.2. Teoría de la digestión anaerobia**

La teoría sobre la digestión anaerobia surge a partir de su aplicación tecnológica como fuente productora de energía data del siglo X a.c en Asiria, donde se cree se utilizaba el biogás para calentar agua, al igual que en Persia en el siglo XVI (Lusk, 1998).

La primera referencia científica al biogás se sitúa en el s. XVII, cuando Baptista (1630), determino que los gases inflamables podrían tener origen en la descomposición de la materia orgánica; posteriormente.

Alessandro Volta concluyo en 1776 que existía una relación directa entre la cantidad de materia orgánica en degradación y la cantidad de gases combustibles producidos (Lusk, 1998).

Actualmente, y tras siglos de investigación y aplicación de este proceso para el tratamiento de residuos orgánicos, la digestión anaerobia se entiende como una serie de procesos biológicos en los cuales diferentes microorganismos degrada la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Ramos, 2014).

### 2.2.3. Teoría del biogás

La teoría de la producción de biogás es tan vieja como puede ser la investigación científica e incluye los nombres de la mayoría de los investigadores más famosos del mundo. Haciendo una recapitulación de los numerosos estudios sobre este proceso, vemos que la primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jan Baptista Van Helmont, en la primera mitad del siglo XVII (1630), quien determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían unos gases que eran inflamables (Baptista, 1630).

El gas metano fue descubierto por Shiley en 1667 denominándole “Gas de los Pantanos”. La historia señala que Alejandro Volta fue el primer investigador en describir científicamente la producción de gas combustible en lodos y sedimentos lacustres 1776. La primera unidad utilizada para depurar los sólidos sedimentados de agua negras o albañal doméstico, fue desarrollado por Louis H. Mouras de Vesoul, en Francia fue denominada “estercolero automático Moura” (Lusk, 1998).

En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con estiércol de vacas. En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar estiércol y agua, a una temperatura de 35 °C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano (Lusk, 1998).

La obtención de metano en laboratorio a partir de estiércol de vacuno la consiguió en 1805 Sir Humphrey Davy y unos cincuenta años más tarde, en 1859, se construyó la primera instalación industrial de digestión anaerobia en una leprosería de Bombay (hoy Mumbai) en la India, aprovechando una fosa séptica. Este sistema fue denominado “Mouras Automatic Scavenger”. Posteriormente se dio el primer

desarrollo tecnológico con la introducción del “filtro anaerobio” en 1880. En 1895 en Exeter (Inglaterra) se emplea el biogás obtenido en una instalación de tratamiento de aguas residuales para alimentar farolas en las calles (Monnet, 2003).

En 1927 Ruhrverband instala el primer digestor calefactado para la digestión anaerobia de lodos, hasta 1930 Buswell y sus colaboradores no identificaron las bacterias productoras de metano y las condiciones que favorecían su producción (González, 2008).

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.3.1. Biodigestor**

#### **2.3.1.1. Generalidades**

Los biodigestores toman su término de digestivo o digestión, son sistemas ecológicos o contenedores de concreto, polietileno, hormigón, metal e incluso bolsas, cerrados herméticamente e impermeables que producen biogás y abono natural a partir de desechos orgánicos, los cuales pueden ser, excrementos de origen animal y humano así como restos vegetales, estos residuos se degradan mediante un proceso de descomposición, convirtiéndose en energía limpia y abono orgánico para su uso en las tareas del campo, por lo que es un avance tecnológico que crea ahorro energético ideal para las zonas rurales o para países en vías de desarrollo; los biodigestores se utilizan con mayor frecuencia con el tratamiento de excrementos de ganado bovino y porcino, ya que ambos generan gas metano en una mayor medida (Avila, 2016).

#### **2.3.1.2. Tipos de biodigestores**

Los biodigestores se pueden clasificar de diversas formas, pero la importancia radica en la frecuencia de cargado, ya que esta determina la cantidad de sustrato o biomasa que

entrará en el proceso de digestión anaerobia; es así que tenemos la siguiente clasificación (Toala , 2013).

### 1) **Biodigestores portátiles:**

Este tipo de biodigestores por lo regular son de uso doméstico, son pequeños y fáciles de elaborar no tienen un costo elevado, incluso se puede elaborar en casa puesto que son modelos sencillos. Actualmente hay de elaboración comercial, los cuales son muy prácticos y podemos trasladar fácilmente; son necesarios, por ejemplo, en lugares rurales a los cuales es difícil el acceso de los transportes (Avila, 2016).



*Figura 1. Biodigestores portátiles.*

*Fuente: Avila (2016).*

### 2) **Biodigestor de flujo continuo:**

Se cargan continuamente, los de desplazamiento horizontal principalmente tienen la finalidad de tratamiento de aguas negras, los tanques verticales se encargan de producción a gran escala, así como el uso de alta tecnología para el control, es sobre todo de corte industrial, comunal o granjas (Toala , 2013).

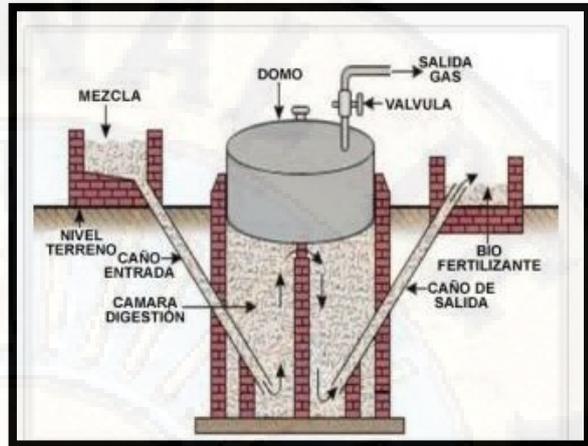


*Figura 2. Biodigester de flujo continuo.  
Fuente: Toala (2013).*

### 3) Biodigester de flujo semi-continuo:

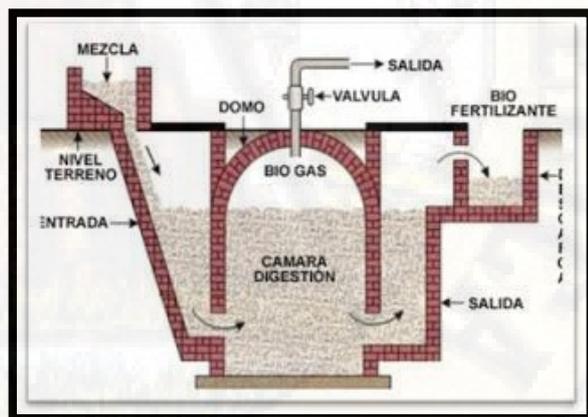
Se cargan en lapsos cortos y de manera directa, como de 12 horas, una vez al día, o cada dos días, se utilizan cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días; los principales son (Avila, 2016):

 **Modelo hindú:** Originario de la India, es llamado también biodigester de domo flotante o de campana, el cual se caracteriza por flotar en encima del sustrato debido al contenido de biogás en su interior. Esta campana tiene la habilidad de subir y bajar dependiendo a la cantidad de biogás que se genera en el interior de la estructura, la campana o el domo puede ser de un material resistente a la corrosión y requiere de una guía central o rieles laterales que eviten el contacto con las paredes interiores (Toala , 2013).



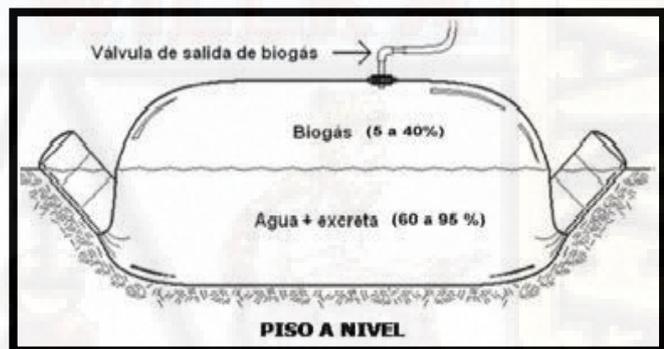
*Figura 3. Biodigestor de modelo hindú.*  
*Fuente: Avila (2016).*

 **Modelo chino:** Modelo de campana fija, es el más usado gracias a su durabilidad, fácil manejo, funcionalidad y seguridad. Se originó en china donde está ampliamente difundido, consta de su cámara de carga y descarga puede estar construido de ladrillo, concreto armado, piedra u hormigón, las paredes internas pueden permeabilizarse con cemento o porcelana para evitar fugas de líquido (Avila, 2016).



*Figura 4. Biodigestor de modelo chino.*  
*Fuente: Avila (2016).*

 **Modelo Taiwán tubular o salchicha:** Debido a los costos tan altos para la construcción de los biodigestores, tomando en cuenta que es una limitante para pequeños productores, unos ingenieros taiwaneses desarrollaron este tipo de biodigestor que está hecho de polietileno pues es una bolsa-reactor por lo tanto es flexible y está semienterrado, presenta los siguientes componentes, tubo de entrada, tubo de afluyente, tubo de biogás, dispositivo de seguridad y tubo de limpieza (Avila, 2016).



*Figura 5. Biodigestor de modelo Taiwán.*

*Fuente:* Avila (2016).

#### 4) Biodigestor de flujo discontinuo:

Son aquellos biodigestores que una vez realizada la carga del sustrato, ya no se puede meter o sacar el material hasta que finalice el proceso de biodigestión, es decir hasta cuando ya no se genere más biogás, el cual se vaciará y volverá a cargar nuevamente con el sustrato para iniciar con el proceso (Toala , 2013).



*Figura 6. Biodigestor de flujo discontinuo.  
Fuente: Toala (2013).*

### 5) Biodigestor de flujo discontinuo tipo Batch con un agitador

También conocidos como digestor de régimen estacionario o de carga por lotes; se caracterizan por que la carga de estos se realiza una sola vez mientras dure el proceso, descargando todo el biodigestor una vez finalizado para repetir el procedimiento nuevamente; este tipo de biodigestor a nivel rural puede construirse de varias maneras. Sin embargo, consiste básicamente en un reactor principal en el cual se llevará a cabo el proceso, y un gasómetro generalmente aéreo, que permitirá coleccionar el biogás producido (Luna, 2018).

Al prototipo se le adiciona un agitador central para la homogenización del sustrato durante el proceso de producción de biogás (Huere et al., 2017).

#### 2.3.1.3. Partes de un sistema de biodigestor

De acuerdo a (Martí, 2008) las partes principales que conforma todo sistema de biodigestor son las siguientes:

- a) **El tanque de mezcla:** En donde se mezcla el material de fermentación con agua y se eliminan impurezas que pueden obstruir la planta.

- b) **El tubo de carga:** Por donde entra el cieno de fermentación al digestor.
- c) **El digestor:** Donde las bacterias producen el biogás.
- d) **Las paredes divisorias:** En el digestor ayudan a que el cieno de fermentación tenga que recorrer largos trayectos.
- e) **El tubo de descarga:** Es por donde el cieno fermentado deja el digestor.
- f) **El depósito de gas:** Es donde se acumula el gas.
- g) **El tanque de compensación:** En las plantas de cúpula fija sirve como depósito para el cieno de fermentación que es desplazado por el biogás.
- h) **La tubería de gas:** Que lleva el biogás hacia el sitio de consumo.

## **2.3.2. Digestión anaerobia**

### **2.3.2.1. Generalidades**

La digestión anaerobia es un proceso biológico de fermentación complejo, el cual se caracteriza por una transformación de los residuos orgánicos mediante la degradación por bacterias que no requieren del uso de oxígeno y finalmente con su reacción producen gases, de los cuales predomina el metano (Varnero, 2011).

Este proceso anaerobio se clasifica como fermentación anaerobia o respiración anaerobia dependiendo del tipo de aceptores de electrones. Recordando que no solo existe la digestión anaerobia también hay otro proceso biológico que difiere de este, puesto que si requiere la presencia del oxígeno para que los microorganismos degraden la materia orgánica, llamada digestión aerobia, su principal problema es que encarece los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire. Otra de las

razones es que 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 el crecimiento bacteriano frente a un 50% consumido en el proceso aerobio. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costos de tratamiento de los lodos (Avila, 2016).

Los organismos anaerobios utilizan receptores de electrones que tienen un potencial más alto de reducción que el oxígeno, lo que significa que la respiración es menos eficiente y conduce generalmente a tasas de crecimiento más lentas que en los aerobios. Muchos anaerobios facultativos pueden utilizar tanto oxígeno como receptores finales de electrones alternativos para la respiración dependiendo de las condiciones ambientales, la mayoría de los organismos de respiración anaerobia son heterótrofos, aunque hay algunos autótrofos. En ausencia de un aceptor externo de electrones, muchos organismos pueden oxidar algunos compuestos orgánicos con liberación de energía, proceso denominado fermentación, bajo esas condiciones sólo se produce la oxidación parcial del compuesto orgánico, y únicamente es liberada una pequeña parte de la energía, permaneciendo el resto en los productos resultantes. Las oxidaciones parciales implican la misma sustancia como dador y aceptor de electrones a la vez (Avila, 2016).

Los microorganismos involucrados en el proceso de degradación varían dependiendo del material a degradar. Los alcoholes, ácidos grasos y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos. Estos utilizan, entre otros nutrientes, el

nitrate (Paracoccus denitrificans, Pseudomonas stutzerii), azufre (Desulfuromonas acetoxidans, Pyrodictium occultum), sulfato (Desulfovibrio desulfuricans, Desulfonema limicola), carbonato (Acetobacterium woodi, Clostridium aceticum, Methanobacterium thermoautotrophicum), fumarato (Escherichia coli, Wolinella succinogenes) o Fe(III) (Alteromonas putrefaciens) como aceptores de electrones, por lo que pueden denominarse reductores de nitrato, reductores de sulfato, etc (Varnero, 2011). Los productos finales de la digestión anaerobia pueden descomponerse en productos gaseosos (biogás) y en digestato que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación (Avila, 2016).

El proceso de digestión anaerobia inicia cuando el estiércol fresco que contiene bacterias, continúan digiriéndolo y producen metano, dióxido de carbono y otros gases; si esta digestión se hace en ausencia de aire (digestión anaerobia) se produce biogás, que es uno de los elementos de interés de un biodigestor, realmente hay una producción en cadena de diferentes tipos de bacterias (Martí, 2008). Unas inicialmente producen una hidrólisis del estiércol o excretas generando ácidos orgánicos, otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos a través de una deshidrogenación y acetogénesis dando como resultado ácido acético e hidrogeno y finalmente otras bacterias, llamadas metanogénicas, digieren el hidrogeno y el ácido acético para transformarlo en metano, que es el gas más importante del biogás y el que permite la combustión (Martí, 2008).

#### **2.3.2.2. Fases de la digestión anaerobia**

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases de fermentación consecutivas

diferenciadas en el proceso de digestión del sustrato, la digestión de la materia orgánica ocurre en cuatro etapas o fases básicas que son (Varnero, 2011):

**a. Hidrolisis**

En esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es, por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros, esta fase es la que proporciona sustratos orgánicos, para la digestión anaerobia (Camarena , 2012). La hidrolisis puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de ciertos factores; cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos (Avila, 2016).

Las proteínas, este sustrato es una fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional, son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso (Varnero, 2011). La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol (Varnero, 2011). La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos

principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis; esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono (Avila, 2016).

Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiosa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos; la tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura, ésta depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas; los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores; los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis, entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propionibacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium (Avila, 2016).

#### **b. Acidogénesis**

En esta etapa tiene lugar la fermentación de los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos

orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Varnero, 2011).

La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema; este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos (Avila, 2016).

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis; el género Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. El grupo Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición; sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos; esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monoméricos (Avila, 2016).

### **c. Acetogénesis**

Hay productos que resultan de la fermentación que no pueden ser metabolizados directamente como etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos y por consiguiente deben ser transformados en productos más sencillos como acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) a

través de las bacterias acetogénicas; representantes de los microorganismos acetogénicos son: *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini* (Avila, 2016). Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos; este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla  $H_2/CO_2$ ) produciendo como único producto acetato; al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*; en esta parte del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento del sustrato orgánico y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células; estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Varnero, 2011).

#### **d. Metanogénesis**

Los microorganismos metanogénicos actúan sobre los productos resultantes y pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los

que dan nombre al proceso general de biometanización, completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2/CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas (Varnero, 2011).

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas; se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen  $H_2/CO_2$  y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas (Martí, 2008).

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el  $H_2$  como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanotrix*; el metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol; el más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior (Martí, 2008).

### **2.3.2.3. Microorganismos intervinientes en las fases de digestión**

Las especies de microorganismos involucrados en el proceso de la digestión anaerobia varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la

respiración anaeróbica de los microorganismos (Varnero, 2011):

**a. Bacterias que participan de la hidrólisis**

Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propionibacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium (Varnero, 2011).

**b. Bacterias que participan de la acidogénesis**

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. El grupo Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición (Varnero, 2011).

**c. Bacterias que participan de la acetogénesis**

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 horas. Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos (Varnero, 2011).

**d. Bacterias que participan de la metanogénesis**

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de

microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H<sub>2</sub>. Este puede detectarse por su auto fluorescencia en un microscopio óptico. Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica (Varnero, 2011).

### **2.3.3. Factores que afectan el proceso de la digestión**

Existen diversos factores determinantes en el proceso de digestión anaerobia, que pueden mejorar o inhibir el desarrollo del mismo; entre los más influyentes encontramos los siguientes:

#### **2.3.3.1. Naturaleza y composición de la materia prima**

Las características bioquímicas que presenten los residuos o materia prima que ingresarán al reactor (biodigestor), deben ser tales que permitan el desarrollo y la actividad microbiana del sistema para que el proceso de digestión anaerobia se realice adecuadamente; para que ello suceda, el proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Comúnmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos orgánicos presentan estos elementos en proporciones adecuadas; sin embargo, cuando se requiere realizar la digestión de ciertos desechos agroindustriales puede presentarse el caso de requerirse la adición de las sales antes mencionadas (Luna, 2018).

Por otro lado, las sustancias con alto contenido de lignina (como los restos secos de cosechas o limpieza de campos), no son directamente aprovechables por los microorganismos, por lo que deben ser sometidos a tratamientos previos tales como el cortado, macerado o compostado, con la finalidad de liberar las sustancias que pueden ser transformadas. En el caso de los estiércoles animales, la degradación de cada uno dependerá del tipo de animal del que provengan y la alimentación que este haya recibido (Varnero, 2011).

En términos generales, la materia prima que puede ser utilizada y tratada bajo un proceso de digestión anaerobia, se clasifica en tres grandes grupos; los residuos de origen agrícola (estiércol de ganado, residuos de alimentación del ganado y residuos de cosecha y cultivos energéticos, entre otros), los residuos de tipo municipal (residuos orgánicos provenientes de hogares privados, residuos de mercado y alimentos vencidos o en mal estado, entre otros) y los residuos industriales (glicerina, residuos del procesamiento de alimentos o grasas provenientes de las trampas para esta, entre otros) (Luna, 2018).

Sin embargo, existen otras clasificaciones más detalladas como la que se presenta en el Manual del biogás, publicado por la FAO (2011), donde se clasifican los sustratos o materias primas en las siguientes cuatro clases, “en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO)”, tal como se aprecia en la tabla.

**Tabla 1***Clasificación del sustrato para la digestión anaerobia*

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
<b>Sólido</b>	1	Basura domestica	>20 % ST
		Estiércol sólido	40 – 70 % Fracción orgánica
		Resto de cosecha	
<b>Lodo altamente contaminado</b>	2	Heces de animales	100 – 150 g/l DQO 5 – 10 % ST
<b>Fluidos con alto contenido en sólidos suspendidos</b>	3	Heces animales	3 – 17 g/l DQO
		De cría y levante	1 – 2 g/l SS
<b>Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión</b>	4	Aguas residuales De mataderos	5 – 18 g/l DQO
		Aguas residuales de agroindustrias	
		Aguas negras	4 – 500 g/l DQO

*Fuente: FAO (2011).*

Así mismo, en la tabla se detalla que, de acuerdo a sus características, los sustratos de clase 1 pueden degradarse eficientemente en digestores tipo Batch o por lotes; mientras que los demás son degradados de manera eficiente en otro tipo de biodigestor.

### 2.3.3.2. Relación carbono/nitrógeno

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. 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 (Varnero, 2011).

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 la relación óptima

de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 (Varnero, 2011).

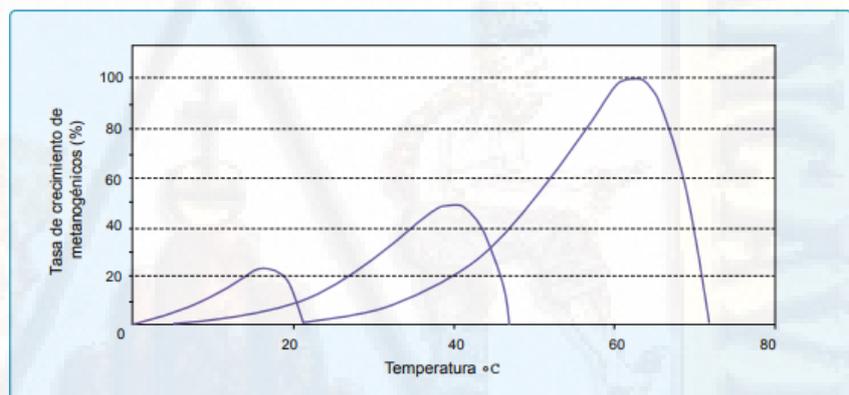
La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso (Varnero, 2011). 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,  $C/N = 30/1$ . Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas (Varnero, 2011).

### **2.3.3.3. Temperatura**

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, dependen fuertemente de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados, que a su vez dependen de la temperatura (Varnero, 2011). Es por ello que este es uno de los parámetros más importantes en la digestión anaerobia, ya que determina la velocidad de degradación de la materia orgánica y la producción de biogás; conforme esta aumenta, también crece la tasa de hidrólisis de los compuestos orgánicos complejos, la velocidad de crecimiento de los microorganismos y con ello la producción de biogás (Díaz de Basurto, 2013).

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor suelen desestabilizar el proceso. Por lo que resulta importante mantener una temperatura más o menos constante (Luna, 2018).

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25 °C), mesófilos (entre 25 °C y 45°C) y termófilos (entre 45 °C y 65 °C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento ( $\mu_{max}$ ) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación (Varnero, 2011).



**Figura 7.** Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos.

**Fuente:** Varnero (2011).

**Tabla 2**

*Rangos de temperatura y tiempo de digestión anaeróbica*

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo (°C)</b>	<b>Óptimo (°C)</b>	<b>Máximo (°C)</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
<b>Psycrophilica</b>	4 – 10	15 – 18	20 – 25	Sobre 100 días
<b>Mesophilica</b>	15 – 20	25 – 35	35 – 45	30 – 60 días
<b>Thermophilica</b>	25 – 45	50 – 60	75 – 80	10 – 15 días

**Fuente:** Varnero (2011).

Este parámetro está íntimamente ligado a los tiempos de retención que tendrá la biomasa dentro del biodigestor, y es que mientras mayor sea la temperatura a la cual se desarrolle el

proceso, menor será el tiempo necesario para metabolizar una misma cantidad de biomasa (Luna, 2018).

#### **2.3.3.4. pH y alcalinidad**

El pH es un parámetro que mide las concentraciones del ion hidrógeno o el ion hidroxilo en el medio evaluado, así mismo también determina la composición del nitrógeno y el amoníaco total. “El amonio y los iones hidrógeno ( $H^+$ ) se suelen encontrar a bajos niveles de pH mientras que el amoníaco y los iones hidroxilo predominan en valores altos de pH” (Luna, 2018).

La digestión o fermentación anaeróbica de compuestos orgánicos, es un proceso que se ve afectado por los cambios en los valores de pH fuera de los rangos considerados adecuados para cada una de las sub etapas o fases del proceso. Sin embargo, existe una comunidad microbiana en particular que resulta ser más susceptible a estos cambios, y es precisamente la comunidad microbiana (bacterias metanogénicas) que se encarga de generar el gas metano que tanto importa a la hora que llevar a cabo un proceso de digestión anaerobia. De manera general, se establece que los diferentes microorganismos que actúan en este proceso, presentan niveles de actividad óptimos entorno a la neutralidad. Siendo los valores óptimos de pH para los grupos bacterianos acidogénicos entre 5.5 y 6.5, mientras que para la comunidad bacteriana metanogénica, son considerados valores de pH óptimos aquellos entre 6.8 y 7.2. Cuando los cultivos son mixtos, el rango de pH óptimo es considerado aquel que se encuentra entre 6.8 y 7.4; siendo el pH neutro el ideal (Varnero, 2011).

Una vez estabilizado el medio, para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir

de 8.0 ya que el valor del pH en el digester no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Valores de pH por debajo de 6 resultarán en un biogás pobre en contenido de metano, por lo tanto, sus cualidades energéticas también serán bajas. Ello debido al desequilibrio generado en el sistema, llegando incluso a cesar la producción de metano. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es recomendable mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad (Varnero, 2011).

#### **2.3.3.5. Tiempo de retención hidráulica**

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la medida que describe el tiempo promedio que una sustancia reside en el reactor. Al aumentar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la producción de metano (Díaz de Basurto, 2013).

Una característica de este parámetro, es que solo puede ser definido en biodigestores de tipo Batch o flujo discontinuo, ya que el tiempo de retención hidráulico, coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del biodigestor. Mientras que, en biodigestores de flujo continuo o semi-continuo, el tiempo de retención hidráulico está en función del volumen del biodigestor y el volumen de carga diaria, siendo el resultado de dividir estos últimos (Luna, 2018).

Por otro lado, el tiempo de retención hidráulico no solo está ligado al tipo de biodigestor que se utiliza, sino que también está fuertemente correlacionado a la temperatura y el tipo de sustrato utilizado. Tal como se mencionó anteriormente, mayores temperaturas implicarán un menor tiempo de retención, mientras en el caso de los sustratos, aquellos que presenten una mayor cantidad de carbono retenido en moléculas

resistentes como la celulosa requerirán mayores tiempos de retención para ser totalmente metabolizados o digeridos (Luna, 2018).

#### **2.3.3.6. Agitación y mezclado**

La agitación y mezclado del sustrato al interior del biodigestor permite la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas y el mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana (en caso se trate de un biodigestor de flujo continuo o semicontinuo), ayudando de esta forma a evitarla formación de costras dentro del digestor, uniformizando la densidad bacteriana y evitando la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica, lo que previene la formación de espumas y la sedimentación en el reactor (Luna, 2018).

La agitación y mezclado del sustrato permite también mantener un equilibrio simbiótico entre las bacterias que allí se desarrollan, la ruptura de ese equilibrio, que permite que el metabolito de un grupo específico sirva de alimento para el siguiente implicaría una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de biogás; en términos generales, la agitación y mezclado del sustrato dentro del reactor permite una mayor producción de biogás, reduciendo el tiempo de retención hidráulica (Luna, 2018).

### **2.3.4. Estiércol**

#### **2.3.4.1. Generalidades**

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

productos del desecho del metabolismo (Chancha & Flores , 2017).

Si bien los excrementos o estiércoles del ganado en general producidos por la misma actividad ganadera son considerados desechos o residuos como tal, que cuando no son manejados adecuadamente constituyen un serio problema para el ambiente, la población humana, y el mismo ganado, estos representan una importante fuente de abono orgánico que contribuye con el mantenimiento de la estructura, la capacidad de retención de agua, la aireación y el desarrollo de microorganismos benéficos en el suelo, así como la disminución de la erosión eólica e hídrica por escorrentía. Por lo que finalmente se consideran un elemento importante y valioso para mejorar la fertilidad del suelo, convirtiéndose en un recurso demandado por las actividades agropecuarias (Luna, 2018).

#### **2.3.4.2. Contaminación por estiércol**

El sector ganadero genera más gases de efecto invernadero, los cuales al ser medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son más altos que los del sector del transporte (España , 2018).

La ganadería no sólo amenaza al medio ambiente, sino que también es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos: "El sector ganadero es responsable del 9 % del CO<sub>2</sub> procedente de la actividad humana", pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales (Toala , 2013).

Genera el 65 % del óxido nitroso de origen humano, que tiene 296 veces el potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub>, la

mayor parte de este gas procede del estiércol, así como también el sector ganadero es el medio de subsistencia para 1.300 millones de personas en el mundo y supone el 40 % de la producción agrícola mundial (Toala , 2013).

Para muchos campesinos pobres en los países en desarrollo, el ganado es también una fuente de energía como fuerza de tiro y una fuente esencial de fertilizante orgánico para las cosechas; durante mucho tiempo el estiércol se utilizó como abono natural para fertilizar el suelo, proporcionándole nutrientes, por lo que se pudo aplicar a la mayoría de suelos de cultivos, a través del proceso de compostaje para ayudar a la fertilización (Toala , 2013).

#### **2.3.4.3. Ventajas del estiércol**

- 🌱 En la agricultura y ganadería, la buena utilización y disposición del estiércol a través del compostaje, ayudaría a resolver ciertos problemas en ambas actividades agropecuarias, como la poca fertilidad de los suelos y la acumulación excesiva del excremento (España, 2018).
- 🌱 Un adecuado proceso de fermentación o compostaje del estiércol, produciría un material asimilable para las plantas de cultivos y suelos fértiles, lo que generaría buenas ventajas para el sector agropecuario (España, 2018).
- 🌱 El estiércol compostado produce más cantidad de humus, aumentando la actividad microbiana, que al aplicar directamente el estiércol sin tratar al suelo (España, 2018).
- 🌱 La utilización del estiércol como abonos orgánicos naturales, benefician grandemente a los agricultores, minimizando la aplicación de fertilizantes químicos (Toala , 2013).

#### **2.3.4.4. Desventajas del estiércol**

-  La principal desventaja es que existe gran acumulación del estiércol por la intensiva actividad ganadera en las zonas rurales y su inadecuada disposición final, lo que produce impactos al ambiente, como la proliferación de enfermedades que afectan al ganado y las personas dedicadas a estas actividades (España, 2018).
-  El estiércol puede contener gran contenido de antibióticos, pesticidas, etc. lo cual generaría una bioacumulación en la zona, ocasionando un problema para el uso de la fertilización del suelo (España, 2018).
-  Existe desequilibrio del compost, o compost de mala calidad al no mezclar estiércoles con gran contenido de macronutrientes, con otros materiales de menor contenido (España, 2018).
-  Si se desea utilizar el estiércol como abonos orgánicos, los ganaderos necesitan tener conocimientos, como también de maquinaria para realizar los volteos del material y producir un compost de gran calidad (España, 2018).

#### **2.3.4.5. Composición del estiércol**

El estiércol no es un abono de composición fija, esta depende de la edad de los animales de que se procede, de la especie, de la alimentación a que están sometidas, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza y composición de camas (España, 2018).

Un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal viejo; las deyecciones que de aquel proceden contienen, pues, menor cantidad de esos elementos; los animales viejos habiendo cesado de crecer, asimilan los alimentos únicamente las cantidades necesarias para cubrir las

pérdidas y dan estiércoles más ricos en elementos fertilizantes; resulta que los orines del ganado abundan en nitrógeno (N) y, sobre todo en potasa (K), y en cambio apenas contienen ácido fosfórico, que se encuentra todo en las deyecciones sólidas (Toala , 2013).

**Tabla 3**

*Porcentajes de la composición del estiércol*

Nutrientes	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48.9	45.3	52.8	63.9	54.1
Nitrógeno total (%)	1.27	1.36	1.55	1.94	2.38
Fosforo asimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %)	0.81	1.98	2.92	1.82	3.86
Potasio (K <sub>2</sub> O, %)	0.84	0.66	0.74	0.95	1.39
Calcio (CaO, %)	2.03	2.72	3.2	2.36	3.63
Magnesio (MgO, %)	0.51	0.65	0.57	0.45	0.77

*Fuente: Tola (2013).*

En la composición del estiércol influye también la composición de las raciones alimentarias; cuantas más ricas son estas en un determinado elemento, mayor es la cantidad que de ese elemento se encuentra en los excrementos (España, 2018).

#### **2.3.4.6. Usos potenciales del estiércol**

El potencial uso del estiércol durante varias generaciones agropecuarias, ha sido la elaboración del compost, esta práctica permite obtener un producto libre de gérmenes patógenos, contrarrestando malos olores, y produciendo sustancias húmicas similares a las del suelo, facilitando la fertilización de los cultivos; el estiércol no solamente puede ser utilizado para la elaboración de compost, sino también para la producción de biogás y fertilizantes líquidos, sometiéndolo a una degradación en condiciones anaerobias, el biogás producido tiene un alto contenido de metano altamente

inflamable, la cual, con instalaciones adecuadas, se puede producir energía eléctrica y a su vez ser utilizado en la cocina doméstica (Toala , 2013).

### **2.3.5. Productos de la digestión anaerobia**

#### **2.3.5.1. Biogás**

Se denomina biogás a la mezcla de gases que resultan de la descomposición del material orgánico por medio de un proceso digestivo, que tiene lugar gracias a la acción bacteriana en ausencia de oxígeno (condiciones anaerobias); para ello existen básicamente tres clases de residuos de biomasa o residuos orgánicos que pueden ser utilizados con este fin, el sustrato de origen agrícola como el estiércol de ganado, residuos de alimentación del ganado y residuos de cosecha y cultivos energéticos, los residuos de tipo municipal, como aquellos residuos orgánicos provenientes de hogares privados (recogidos por separado), residuos de mercado y alimentos vencidos o en mal estado y finalmente los residuos industriales, tales como la glicerina, residuos del procesamiento de alimentos o grasas provenientes de las trampas de esta, para que todo esto suceda y, la sustancia orgánica de estos residuos pueda convertirse en biogás, estos deben atravesar un proceso de digestión, para ello se utilizan digestores herméticos que permiten de cierto modo mantener controlado el proceso (Luna, 2018)

##### **2.3.5.1.1. Composición del biogás**

La composición del biogás depende del tipo de material o desecho orgánico que se esté utilizando y las condiciones del proceso; es difícil determinar exactamente cuál es la composición del biogás en sí (Cornejo , 2012).

El biogás consiste principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene muchas otras impurezas; el biogás con un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Cornejo , 2012).

**Tabla 4**

*Composición química del biogás*

Componentes	Fórmula Química	Porcentaje
Metano	CH <sub>4</sub>	60 -70
30 -40Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

*Fuente: Cornejo (2012).*

#### **2.3.5.1.2. Propiedades energéticas del biogás**

Las propiedades del biogás se deben a la presencia del gas metano como combustible principal y del hidrogeno en proporción al contenido de los mismos “la combustión es muy limpia dando como productos finales bióxido de carbono y agua que no son contaminantes; por esta razón se dice que el biogás es un combustible ecológico, el poder calorífico del biogás está comprendido entre 4.500 y 6.000 kilocalorías/m<sup>3</sup> dependiendo de su composición” (España, 2018).

El biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido de metano de 60 % tiene un

poder calorífico de unas 5.500 kcal/m<sup>3</sup> (España, 2018).

#### **2.3.5.1.3. Aplicación del biogás**

Existen diversas opciones para utilizar el biogás, tres aplicaciones las más importantes y relevantes, estas son:

1. Producción de calor o vapor: hace referencia a la energía térmica (calor) proporcionan energía calorífica para actividades básicas (calefacción, cocción). Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire: gas. El requerimiento de calidad de biogás para quemadores es bajo (Varnero, 2011).
2. Generación de electricidad: respecto a esta aplicación, el manual de biogás manifiesta que el biogás se puede utilizar como producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispas y con bajo mantenimiento (Varnero, 2011).
3. Combustible para vehículos: el uso vehicular del biogás es posible y en realidad fue empleado hace bastante tiempo. Para ello el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural (Varnero, 2011)

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica

de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas (España, 2018).

🇨🇵 A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión (Varnero, 2011).

🇨🇵 La conversión de los motores es costosa (instalación similar a la del gas natural) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos (Varnero, 2011).

🇨🇵 Por último, la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso (Varnero, 2011).

#### **2.3.5.2. Bioabono**

El efluente o bioabono extraído del biodigestor es un abono orgánico originado a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércoles animales, plantas, restos de cosecha y poda, entre otros, en ausencia de oxígeno. Es decir, es la mezcla del sustrato procesado y estabilizado y la biomasa microbiana producida durante la digestión anaerobia (Martí , 2008). Así mismo, resulta ser un fertilizante muy rentable ecológica y económicamente, ya que promueve la absorción de nutrientes y el desarrollo en las plantas y soluciona el problema de la gestión de residuos sólidos agropecuarios en los espacios ganaderos y campos de cultivo (Luna, 2018).

El bioabono presenta una fase sólida y una líquida, conocidas como biosol y biol respectivamente. Del cual aproximadamente el 10 % corresponde al primero y el 90 % al segundo de ellos, el valor fertilizante de los productos del proceso "fermentación anaeróbica" para producción de biogás. presentando ambos, excelentes cualidades agronómicas para los cultivos, ya que como se menciona anteriormente, promueven la absorción de nutrientes, el crecimiento de las raíces, tallos y frutos, entre otros beneficios asociados (Luna, 2018).

### **2.3.5.3. Biosol**

El biosol o bioabono sólido, es el resultado de separar el fango resultante de la digestión anaeróbica dentro del biodigestor de la parte líquida. Este es un fango estabilizado rico en nutrientes, siendo más rico en nitrógeno y fósforo que el procedente de un compostaje tradicional. Así mismo, es también un abono orgánico reconstituyente y directamente asimilable por las raíces de las plantas, rico en enzimas, microorganismos benéficos, fitohormonas y otros componentes útiles para ellas. Por lo cual se emplea como estimulante del crecimiento radicular y parte área de la planta, confiriéndole efectos hormonales, ya que permite elevar el índice de área foliar y el peso foliar específico, así como la tasa y la eficiencia fotosintética de la planta, favoreciendo la biofertilidad y la sanidad del suelo (Varnero, 2011).

La aplicación de este bioabono, se suele realizar de la misma manera en que se emplea el compost, sin embargo, se obtienen mejores resultados que con este último debido a la mayor concentración de nutrientes que el biosol contiene (Luna, 2018).

#### **2.3.5.4. Biol**

A diferencia del biosol, el biol es la fracción líquida resultante del proceso de digestión anaerobia, y es obtenido luego de decantar el fango proveniente del biodigestor o reactor en el que se haya llevado a cabo el proceso. Cabe resaltar que aproximadamente el 90 % del material con que se carga el biodigestor se transforma en biol, y si bien las características de este bioabono varían en función del material digerido, presenta en términos generales un alto contenido de materia orgánica (20 % - 40 %), con una baja presencia de materia seca (de 1 % a 5 %) y en el peor de los casos una cantidad de nutrientes igual a la del material utilizado para la fermentación, promoviendo de todas formas la disponibilidad de los mismos para las plantas, como es el caso del nitrógeno amoniacal (Luna, 2018).

Así mismo, el biol es un importante abono orgánico para suelos desgastados o pobres en estructura y nutrientes, ya que, al ser un producto activo biológicamente, desarrolla fermentos nitrosos y nítricos, así como microflora, hongos y levaduras que son un excelente complemento para estos suelos improductivos. Adicionalmente, el alto contenido de materia orgánica que este bioabono contiene, ayuda en la estructuración de los suelos, e influye en los procesos químicos, físicos y biológicos del sistema. Resultando fundamental en la génesis y evolución de nuevos suelos con mayor capacidad de producción (entre 30 % y 50 % más) y más saludables (Sistema Biobolsa, 2017).

#### **2.3.6. Metano**

Es el principal constituyente del biogás y en condiciones óptimas puede producirse biogás con 70 % de  $\text{CH}_4$ . El metano es el componente energético útil y del contenido de este depende el valor combustible de biogás (poder calorífico 5,000 Kcal/m aproximadamente) (Paucar & Quispe, 2015).

El metano en los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala, generándolo a partir de residuos orgánicos. Lo preocupante de este gas es que en estado libre es uno de los más potentes contaminantes, ocupando el segundo lugar y es 23 veces más capaz para atrapar el calor dentro de la atmosfera con el bióxido de carbono, creando el efecto invernadero. Algunos animales de granja emiten metano de dos formas diferentes, los rumiantes, por ejemplo, durante su proceso natural de digestión crean metano (fermentación entérica) esto es causa de emisiones y la segunda es por medio del estiércol que esto lo hacen todas las especies (Avila, 2016).

La industria agrícola-ganadera, con su necesaria expansión, genera y libera este gas originado en la descomposición de la biomasa remanente y en el aumento de las poblaciones de ganado (rumiantes). Las industrias extractivas de carbón, petróleo y gas actúan como fuentes de liberación de metano a la atmósfera. Las estadísticas mundiales revelan que el gas metano ha duplicado su concentración en la atmosfera (Avila, 2016).

**Tabla 5**  
*Porcentaje de metano en el estiércol*

<b>Estiércol</b>	<b>Metano %</b>
<b>Gallina</b>	60
<b>Cerdo</b>	67
<b>Bovino</b>	55

*Fuente: Avila (2016).*

Las principales fuentes productoras de metano son:

-  La descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.
-  El proceso digestivo de los rumiantes (bovinos).
-  La combustión de desechos orgánicos.
-  La actividad microbiana en aguas servidas (cloacas).

 Determinadas acumulaciones de hidrocarburos tales como campos de petróleo, gas y carbón lo emiten espontáneamente (fugas).

 Estiércol y aguas negras de las granjas.

## 2.4. Definición de términos

**Alcalinidad.** – Se define como la capacidad del agua de neutralizar, evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido (Luna, 2018).

**Anabolismo.** – Es la fase del metabolismo en la que a partir de unos pocos precursores sencillos y relativamente oxidados se obtienen moléculas orgánicas cada vez más complejas y reducidas (PUCP, 2012).

**Bacterias.** – Organismo microscópico unicelular, carente de núcleo, que se multiplica por división celular sencilla o por esporas (Varnero, 2011).

**Baremo.** – Es una tabla de cálculos donde deja establecidos un conjunto de normas fijadas por una institución o autor que son: normas de admisión determinadas por un conjunto de puntuaciones parciales, resultados de análisis, lista de números, índices, etc.

**Biocombustible.** – Combustible sólido, líquido o gaseoso obtenido a partir de biomasa (PUCP, 2012).

**Bio-degradación.** – División de materia orgánica, por ejemplo, residuos de plantas y animales, en compuestos más simples por acción de microorganismos (Nachwachsende, 2010).

**Bovino.**-Los bovinos son animales mamíferos y rumiantes que constituyen una subfamilia del grupo de los bóvidos. Disponen de una cola extensa que finaliza en un mechón y de un hocico ancho, mientras que el estuche de sus cuernos resulta liso (Pérez & Merino, 2011).

**Catabolismo.** – Es la fase degradativa del metabolismo en la que moléculas orgánicas más o menos complejas son transformadas en otras moléculas orgánicas o inorgánicas más simples (PUCP, 2012).

**Catálisis.** – Es un proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química utilizando para ello una sustancia llamada catalizador (PUCP, 2012).

**Cieno.** – Lodo blando que se deposita en el fondo de lugares donde hay agua acumulada (Hernández P. , 2010).

**Compost.** – Humus obtenido artificialmente por descomposición en caliente de residuos orgánicos (Nachwachsende, 2010).

**Degradación.** – Proceso por el cual las moléculas orgánicas completas se convierten en moléculas simples (PUCP, 2012).

**Deyecciones.** – Se define como el producto que surge de la mezcla de orina con las excretas de ganado (Hernández A. , 2016).

**Deshidrogenación.** – Pérdida de átomos de hidrógeno (generalmente un par) por parte de una molécula orgánica (PUCP, 2012).

**Descarboxilación.** – La descarboxilación es una reacción química en la cual un grupo carboxilo es eliminado de un compuesto en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Hernández P. , 2010).

**Dióxido de carbono.** – Gas inodoro e incoloro que se desprende en la respiración, en las combustiones y en algunas fermentaciones (PUCP, 2012).

**Digestato.** – Residuo sólido o líquido proveniente de la producción de biogás que contiene constituyentes orgánicos e inorgánicos (Nachwachsende, 2010).

**Efecto Invernadero.** – Fenómeno natural que permite mantener la temperatura del planeta al retener la atmósfera parte de la energía proveniente del sol, pero actualmente intensificado debido al aumento de la concentración de dióxido de carbono proveniente del uso de combustibles fósiles que ocasiona un aumento de la temperatura global y del nivel de los océanos por el deshielo polar (PUCP, 2012).

**Enzima.** – Es una proteína que actúa como catalizador de una reacción química acelerándola, estas son protagonistas fundamentales en los procesos del metabolismo celular, unen su sustrato en el centro reactivo o catalítico, que

suele estar protegido del agua para evitar interacciones no deseadas. (Hernández H. , 2012).

**Gases contaminantes.** - Son elementos que concentrados en altas cantidades en la atmósfera generan riesgos y problemas medioambientales y para los seres vivos. Una parte de los mecanismos de generación de estos gases contaminantes son de origen natural como los volcanes, pero el problema surge en los procesos industriales que implican combustión de elementos fósiles o el uso excesivo del transporte por carretera entre otros (Pérez & Merino, 2011).

**Inhibidores.** – Factores que provocan un aletargamiento o disminución en la producción del biogás (Hernández P. , 2010).

**Lipasa.** – Enzima que fragmenta los lípidos en sus componentes (Hernández H. , 2012).

**Lignocelulosa.** – Materia seca vegetal (biomasa), llamada biomasa lignocelulósica (PUCP, 2012).

**Mesofílico.** – Dícese de aquel organismo cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra por debajo de 45 °C (Hernández H. , 2012).

**Manómetro.** – Instrumento para medir la presión de los fluidos, principalmente de los gases (Huere et al., 2017).

**Metanol.** – Líquido incoloro y muy tóxico, obtenido por destilación de la madera a baja temperatura o mediante la reacción del monóxido de carbono y el hidrógeno, que se emplea para desnaturalizar el alcohol etílico y como aditivo de combustibles líquidos (Paucar & Quispe, 2015).

**Parámetro.** – Elemento o dato importante desde el que se examina un tema, cuestión o asunto (Huere et al., 2017).

**Proteasas.** – Enzimas que fragmenta las proteínas (Hernández P. , 2010).

**Prototipo.** – Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica (Huere et al., 2017).

**Psicrofílico.** – Dícese de aquel organismo cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra por debajo de los 25 °C (Hernández H. , 2012).

**Sustrato.** – Materia prima para la digestión o fermentación (Nachwachsende, 2010).

**Termofílico.** – Dícese de aquel organismo cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra por encima de los 45 °C (Hernández H. , 2012).

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

La temperatura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- a) La temperatura ambiental tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.
- b) La temperatura con acondicionamiento de cobertura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

## **2.6. Variables**

- ✓ Variable dependiente: tiempo de producción de biogás
- ✓ Variable independiente: temperatura

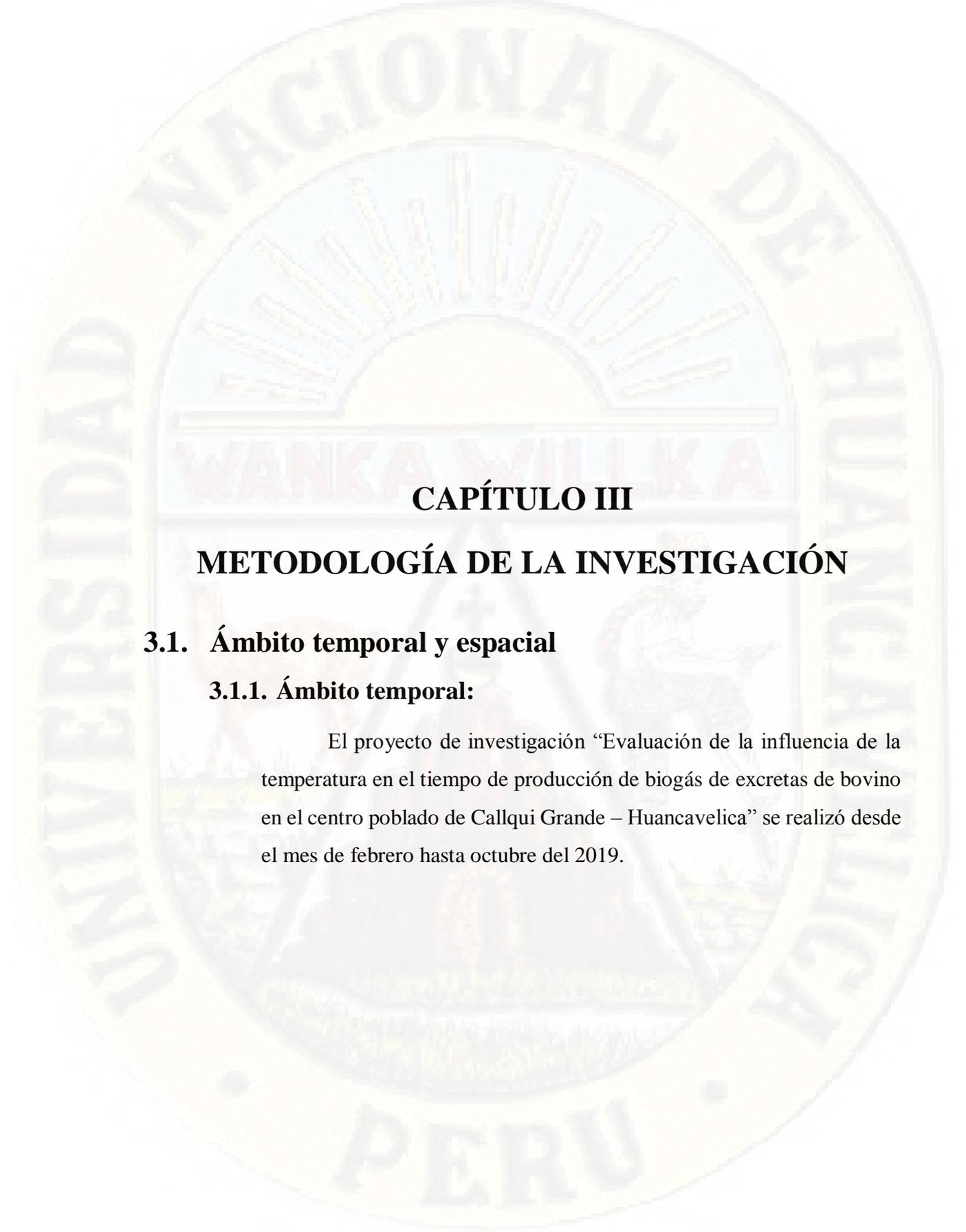
## 2.7. Operacionalización de variable

Tabla 6

Definición operativa de variable

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO Y TÉCNICA
Variable Dependiente (Efectos): <b>tiempo de producción de biogás</b>	<p><b>Biogás:</b> Es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas.</p> <p><b>Tiempo de producción de biogás:</b> El tiempo en que se produce mediante el proceso de fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, quedando como residuo el proceso de lodo.</p>	El tiempo de la producción de biogás tiene una relación directa con la temperatura y la presión, según estudios muestra a mayor temperatura una pronta presencia de presión con la cual se calcula el volumen producido de biogás.	Tiempo Volumen	Días L de gas.	Observación Fórmula de los gases ideales.
Variable Independiente (causa): <b>temperatura</b>	<p><b>Temperatura:</b> Es una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, en general, medido por un termómetro</p>	La temperatura tendrá una relación directa con la producción de biogás, según estudios muestra que a mayor temperatura mayor producción de biogás.	Temperatura ambiental y temperatura con acondicionamiento de cobertura.	°C	Termómetro

*Fuente: Elaboración propia.*



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Ámbito temporal y espacial**

##### **3.1.1. Ámbito temporal:**

El proyecto de investigación “Evaluación de la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande – Huancavelica” se realizó desde el mes de febrero hasta octubre del 2019.

**Tabla 7**

*Cronograma de la investigación*

ACTIVIDADES	AÑO 2019																																																			
	Meses																																																			
	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
<b>1. Planeamiento y coordinación</b>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Revisión bibliográfica			x	x																																																
Elaboración del proyecto de tesis					x	x	x	x																																												
Asesoramiento del proyecto									x	x																																										
Presentación del proyecto											x																																									
Revisión del proyecto											x	x																																								
Levantamiento de Observaciones													x	x																																						
Aprobación del proyecto															x																																					
<b>2. Ejecución</b>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Adquisición de materiales															x	x																																				
Construcción e instalación de biodigestores																	x	x	x	x																																
Recolección de datos																					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
Validación de datos																							x																													
<b>3. Informe final</b>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Elaboración del informe final																									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
Procesamiento de datos																																																				
Asesoramiento del informe final																																																				
presentación del informe																																																				
Revisión del informe por los jurados																																																				
Levantamiento de Observaciones																																																				
<b>4. Sustentación</b>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
sustentación de tesis																																																				

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1.2. Ámbito espacial

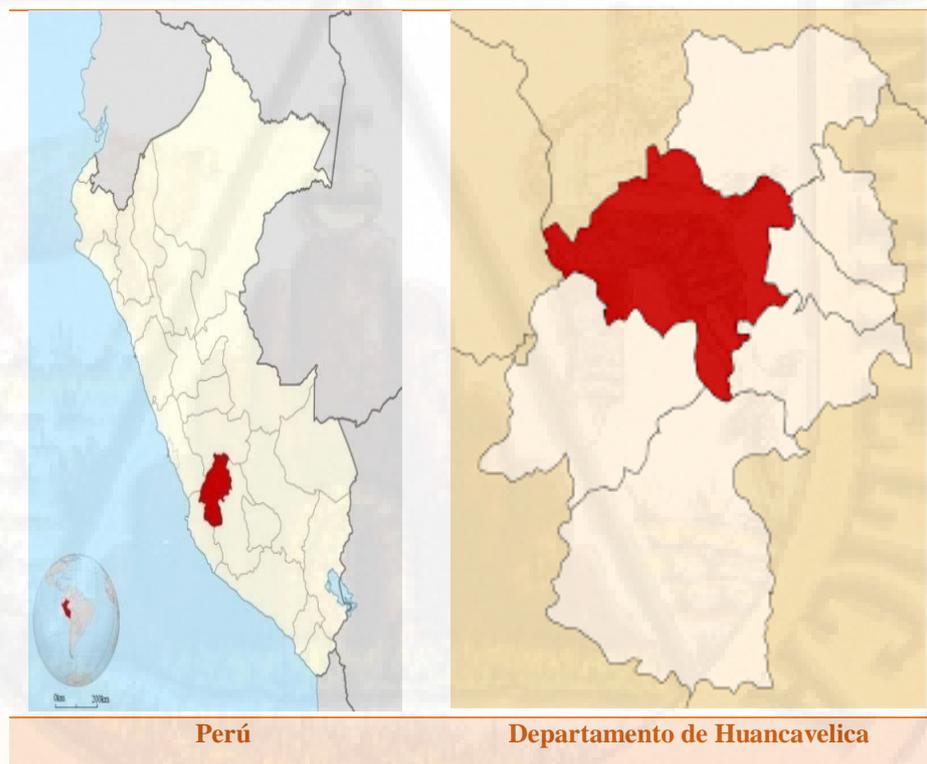
#### Ubicación política:

-  **Departamento** : Huancavelica
-  **Provincia** : Huancavelica
-  **Distrito** : Huancavelica
-  **Centro poblado** : Callqui Grande

#### Ubicación Geográfica:

Altitud	Latitud	Longitud
3,701 m.s.n.m.	12° 47' 00" Sur	75° 00' 00" Oeste

*Fuente: SENAMHI (2019).*



**Figura 8.** Ubicación geográfica del departamento de Huancavelica.  
*Fuente: Elaboración propia.*



**Provincia de Huancavelica**

**Centro Poblado de Callqui Grande**

**Figura 9.** Ubicación geográfica del centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.  
**Fuente:** Google Earth (2019).



**Estación Experimental Callqui Grande**

**Figura 10.** Ubicación geográfica de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.  
**Fuente:** Google Earth (2019).

## **3.2. Tipo de investigación**

Según Murrillo (2011), la investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica ya que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren y se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, que requiere de un marco teórico.

Por lo tanto, el tipo de investigación que se desarrolló en el presente trabajo es la investigación aplicada. Ya que como investigadores nos interesó primordialmente, las consecuencias prácticas de la investigación; debido a que en la tesis realizada se llegó a conocer la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino.

## **3.3. Nivel de investigación**

Según Arias (2006), la investigación explicativa se basa en buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto; en este sentido los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas como de los efectos mediante la prueba de hipótesis.

Por lo tanto, el nivel de investigación que se desarrolló en el presente estudio es la investigación explicativa ya que se comprobó la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino.

### **3.3.1. Método de investigación**

Según Arias (2006), el método científico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis.

Por lo tanto, el método de investigación que se desarrolló en el presente estudio es el método científico donde se tuvo en consideración los siguientes aspectos:

1. Para la ejecución del proyecto de investigación se utilizó los lineamientos del método científico, iniciando con la identificación de la zona en estudio, así como algunos referentes:
  - a) La Estación Experimental Agraria Callqui Grande.
  - b) La complejidad de recursos bioenergéticas.
  - c) Las condiciones medioambientales de estudio en la región de Huancavelica.
2. Para la fase de prueba de hipótesis, se realizó a partir de la recolección de datos en el periodo de producción de biogás, con la finalidad de comprobar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás.
3. Finalmente se llegará a las conclusiones, de acuerdo a los datos, resultados, procedimientos y el procesamiento estadístico de la información recolectada en la fase del proyecto, para realizar las interpretaciones correspondientes.

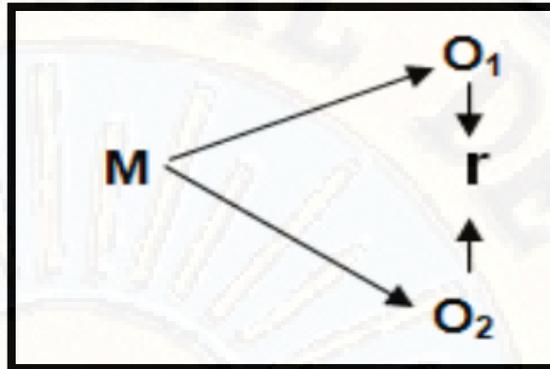
### **3.3.2. Diseño de investigación**

Según Arias (2006), es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteada. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.

El diseño experimental es un proceso que consiste en someter a un objetivo o grupos de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que produce (variable dependiente) (Arias, 2006).

Por lo tanto, en la presente investigación se utilizó el diseño experimental ya que en el estudio se llegó a conocer la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás bajo condiciones rigurosamente controladas.

El diseño correlacional presenta el siguiente esquema:



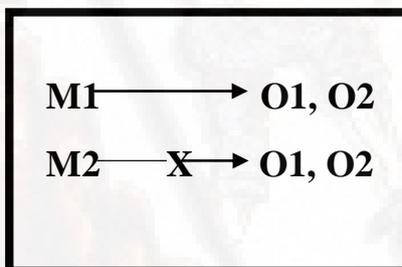
Donde:

M: muestra, biodigestor a temperatura ambiental y a temperatura con acordonamiento de cobertura.

O1: observación de la V.I, temperatura en °C.

O2: observación de la V.D, tiempo de producción (días y volumen en Lgas).

El diseño experimental presenta el siguiente esquema:



Donde:

M1: biodigestor a temperatura ambiental

M2: biodigestor a temperatura con acordonamiento de cobertura.

X: manipulación de la temperatura

O1: observación de la V.I, temperatura en °C.

O2: observación de la V.D, tiempo de producción (días y volumen en Lgas).

### 3.4. Población, muestra y muestreo

#### 3.4.1. Población

Las excretas de bovino del corral de la Estación Experimental Agraria Callqui grande – Huancavelica.

#### 3.4.2. Muestra

Para la determinación de la cantidad de excretas producida diariamente en el corral, se tomó las excretas producidas durante el periodo de permanencia del ganado en el corral, este dato fue medido durante 10 días con 10 bovinos.

**Tabla 8**

*Producción diaria de excretas en el corral*

<b>Día (uno)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Promedio diario (kg)</b>
<b>N° Muestra</b>		
<b>1</b>	2.105	2.250
<b>2</b>	2.056	
<b>3</b>	2.117	
<b>4</b>	2.154	
<b>5</b>	2.423	
<b>6</b>	2.448	
<b>7</b>	2.213	
<b>8</b>	2.415	
<b>9</b>	2.326	
<b>10</b>	2.243	

*Fuente: Elaboración propia.*

En el cuadro se indica la cantidad de excretas producido por animal teniendo como promedio diario 2.250 kg de excretas; esto fue realizó durante 10 días teniendo la suma de 22.5 kg de excretas producido por 10 bovinos en un día.

### Determinación del volumen del sustrato:

Contando con un bidón con la capacidad de 60 L, con el cual se diseñó el biodigestor piloto; para ello se determinó la cantidad de sustrato necesario; teniendo en cuenta que el 75 % correspondería al sustrato, el 20 % al biogás producido y el 5 % por seguridad, para poder obtener lo siguiente (Varnero, 2011).

$$V_s = C_b * 0.75$$

#### Donde:

Vs: Volumen del sustrato (L)

Cb: Capacidad del biodigestor (L)

$$V_s = C_b * 0.75$$

$$V_s = 60 \text{ l} * 0.75$$

$$V_s = 45 \text{ L}$$

La cantidad de sustrato que se introdujo en el biodigestor fue de 45 L; teniendo en cuenta la relación de estiércol-agua de 1:1 de acuerdo a la tabla, para estiércol fresco de bovino (Toala , 2013).

**Tabla 9**

*Relación estiércol - agua*

N°	ORIGEN	RELACIÓN
1	Bovino Fresco	1:1
2	Bovino Seco	1:2
3	Porcino	1:2
4	Aves	1:1
5	Equino	1:2
6	Desechos humanos	1:1
7	Desechos vegetales	1:0.5 - 2

*Fuente: Toala (2013).*

Utilizando la densidad de las excretas de bovino se transforma los 22,5 L en kilogramos, este valor nos da 22,5 kg de excretas, al utilizar el valor de la densidad del agua esta no influye de manera

significativa en los valores de peso de las excretas y del agua, por tanto, decimos que:

22.5 kg de estiércol + 22.5 kg agua = 45 kg de sustrato

Una vez realizados los cálculos el biodigestor quedó compuesto de la siguiente manera:



*Figura 11. Composición del biodigestor para el arranque de la digestión anaerobia.  
Fuente: Varnero (2016).*

### 3.4.3. Muestreo

La técnica de muestreo que se utilizó en la investigación es la técnica de muestreo no probabilístico donde se selecciona la muestra en base a un conocimiento y juicio profesional (muestreo discrecional).

La técnica de muestreo no probabilístico es una técnica de muestreo en la cual el investigador selecciona muestras basada en juicio subjetivo en lugar de hacer muestras al azar (Gonzales et al., 2011).

## **3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos**

### **3.5.1. Técnicas de recolección de datos.**

La técnica de la observación consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Dentro del cual está la observación científica que consiste en observar con un objetivo claro, definido y preciso (Gonzales et al., 2011).

Una de sus modalidades es la observación estructurada ya que es la más apropiada para estudios de investigación científica debido a que impone limitaciones al investigador con el fin de aumentar la precisión y objetividad para obtener resultados adecuados; se realiza mediante elementos técnicos apropiados, como: fichas, cuadros, tablas, etc (Gonzales et al., 2011).

Por lo tanto, la técnica que se utilizó en la investigación para la recolección de datos fue la técnica observacional estructurada mediante el elemento técnico de fichas.

#### **3.5.1.1. Construcción e implementación del biodigestor discontinuo tipo Batch**

Para la recolección de datos se construyó un prototipo de biodigestor, teniendo en cuenta los modelos existentes en el mundo y las características ambientales de Huancavelica, para lo cual se diseñó y construyó un prototipo de biodigestor discontinuo (tipo Batch) a la cual se le adicionó un agitador central o hélice de los biodigestores de tipo continuo para mantener una mezcla homogénea de las excretas con el agua adicionada, tal como se muestra en la Figura.



**Figura 12.** Biodigestor discontinuo con agitador central.  
*Fuente: Huere et al. (2017).*

### **Materiales para la construcción del prototipo:**

Materiales utilizados para la construcción del biodigestor discontinuo (tipo Batch) a escala piloto.

- ✓ 2 bidones de 60 L
- ✓ 2 manómetros
- ✓ 2 paletas
- ✓ 4 rodajes
- ✓ 2 retenes
- ✓ 2 tubos de hierro galvanizado de 2 pulgadas
- ✓ 2 adaptadores de 1/2 pulgada
- ✓ 8 pernos
- ✓ 1 tubo PVC de 5 cm
- ✓ 2 codos PVC de 90° de 1/2 pulgada
- ✓ 2 tee PVC de 1/2 pulgada
- ✓ 2 reducción campana de 1/2 pulgada a tres cuartos
- ✓ 2 niples PVC de 1/2 pulgada
- ✓ 6 llaves de paso PVC de 1/2 pulgada
- ✓ 2 bolsas de papel de aluminio
- ✓ 2 tapones PVC de 1/2 pulgada
- ✓ 2 Pegamento PVC
- ✓ 2 teflones
- ✓ 1/2 kilo de clavos de dos pulgadas
- ✓ 10 maderas de 2 pulgadas y 3.10 m de largo

- ✓ Plástico agrofilm de 1.5 m de ancho y 6 m de largo
- ✓ 100 chinchas - clavos
- ✓ 2 unidades de cinta de embalaje

#### **Reactivos**

- ✓ Excretas
- ✓ Agua

#### **Construcción del prototipo:**

- ✚ Construcción e instalación de la paleta del reactor, se soldaron las paletas al tubo para así colocarlos a los rodajes, se realizó 4 huecos en la tapa del diámetro de la tuerca y 1 hueco para la salida del eje central, se fabricó la manivela para mover el eje, todo esto se soldó y se selló con silicona ajustando cada uno de los pernos para hermetizar.
- ✚ La instalación de los accesorios para la extracción del biogás en los reactores se realizó de la siguiente manera: se hizo un agujero de media pulgada para colocar un adaptador que fue introducido en la tapa del reactor seguido: niple, tubo, codo, niple, llave de paso, niple, tee, niple, reducción campana para colocar el manómetro, llave de paso para acceso del almacenamiento de biogás; cada una de estas uniones se hermetizó con teflón y pegamento para no presentar fugas de biogás.
- ✚ Las instalaciones de los accesorios para la descarga del biol; se hizo un agujero del tamaño del diámetro de la llave de salida, luego se procedió a colocar la llave, se hermetizó con pegamento y empaque para no presentar fugas de biol.
- ✚ La instalación para el almacenamiento de biogás se realizó a los 40 días, después de la llave de paso, se colocó un

niple seguido de un tapón de media pulgada, adaptado a la llave de la bolsa para el almacenamiento de biogás, cada una de estas uniones se hermetizó con teflón y pegamento.

#### **3.5.1.2. Construcción de la estructura para el acondicionamiento**

- ✚ Se utilizó 4 maderas para la altura de la estructura de 1.30 m, para el ancho se usó 4 maderas de 1.03 m, para los laterales y centro del techo 5 maderas de 1.01 m; estos anclajes fueron con clavos de 2 pulgadas, teniendo una estructura resistible y firme.
- ✚ La estructura fue forrada con plástico agrofilm de 6 m de largo y 1.5 m de ancho para poder cubrir cada lado, esto fue asegurado con chinchas – clavos y cinta de embalaje, para mantener una temperatura adecuada para la producción de biogás.
- ✚ Se observó durante la toma de datos por un periodo de 3 días que la temperatura dentro de la estructura no era adecuada ni se mantenía constante ya que la diferencia entre la temperatura externa e interna era de 0.4 °C; por tal motivo se cubrió con una doble capa de plástico negro de 6 m de largo y 1.5 m de ancho, esto fue asegurado con chinchas – clavos y cinta de embalaje, así se obtuvo una temperatura adecuada y constante.

#### **Construcción del cerco perimétrico**

- ✚ Se realizó hoyos para colocar 4 cuarterones de 1.30 m de alto, después se cercó con rafia todo el contorno, para no afectar al proyecto por los animales de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.

#### **3.5.1.3. Procedimientos para la producción de biogás y biol**

- ✚ Teniendo la muestra calculada de estiércol 22.5 kg y agua 22.5 L; se procedió a pesar dicha cantidad para adicionar

y formar el sustrato para cada uno de los biodigestores, posteriormente se realizó el mezclado con la paleta del prototipo del biodigestor; obteniendo una mezcla homogénea entre el agua y el estiércol de bovino, para obtener una adecuada metabolización.

- ✚ Teniendo la mezcla homogénea en los dos biodigestores se procedió a la medición del pH y de la temperatura para el inicio del funcionamiento del prototipo.

**Tabla 10**

*Registros de pH y temperatura para el arranque del biodigestor*

Muestra	pH	Temperatura °C
<b>Biodigestores a temperatura ambiental y a temperatura con acondicionamiento de cobertura</b>	6.95	15.1 °C

*Fuente: Elaboración propia.*

- ✚ Después de ello se dio las condiciones para el primer biodigestor de la siguiente manera: colocación de la estructura, preparación de una cama y protección de todo el contorno del prototipo con Ichu, para mantener una adecuada y constante temperatura obteniendo en un corto tiempo el inicio de la producción de biogás; el segundo biodigestor se colocó en un lugar plano a la intemperie en condiciones ambiental.
- ✚ Tuvimos un adecuado control de parámetros en el tiempo de producción de biogás, para ello instalamos un termómetro ambiental y un manómetro.
- ✚ El monitoreo de los parámetros es la etapa más importante del estudio, donde obtuvimos datos reales y confiables, además se validó con los datos de la estación

meteorológica del SENAMHI, ubicado en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande, lugar donde se desarrolló la investigación.

- ✚ La recolección de datos se realizó de acuerdo a los métodos directos e indirectos, técnicas de observación, fichaje e instrumentos como termómetro ambiental, pH metro y manómetro.

#### 3.5.1.4. Procedimiento para el cálculo del volumen de biogás

Según España (2018), en su investigación realizada utilizó la formula de los gases ideales deducida por Émile Clapeyron, para calcular la producción de biogás del biodigestor a partir de residuos orgánicos, tomando como referencia la fórmula siguiente:

$$PV=nRT$$

#### Donde:

P: presión (atm)

V: volumen del biodigestor = 60 L

n: número de moles (mol) = Variable calculada

R: constante universal de los gases= 0.082 atm.L/K.mol

T: temperatura del biodigestor (K)

#### Pasos para el cálculo del volumen:

Paso 1: Se calcula el número de moles con la formula descrita.

Paso 2: Se asume que 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22.4 L en condiciones normales, por lo tanto, con el número de moles calculado se aplica la regla de tres simples para hallar el volumen del biogás.



nacional de calidad -Perú (INACAL), mide temperatura interna desde -10 °C hasta 50 °C, temperatura entre -14 °F hasta 148 °F, Mide temperatura externa desde -50 °C hasta 70 °C, temperatura externa entre -58 °F hasta 178 °F, detecta humedad interior entre 20 % A 99 % RH, mide temperatura en grados °C y °F, precisión de temperatura entre +/- 1 °C, precisión de humedad entre +/- 5 % RH, detalle de tiempo en año-mes- h-m-s, medición de temperatura en escala de máx. y mín., medición de temperatura en interiores y exteriores, sensor detector de temperatura de 1.1 m (largo), resolución de pantalla 0.1 °C o 2 °F / 1 % RH, y alarma programable 12/24 horas según usuario.



*Figura 13. Termómetro Sh-110 BOECO.*

 **Termómetro tipo T con Vástago BOECO:** Es un equipo de alta calidad de longitud del vástago: 12 cm y 30 cm con punta de penetración, material del vástago: acero inoxidable material del cuerpo: resina fenólica precisión: + 1 °C, resolución: 0.1, rango: - 50 °C + 30 °C / - 58 °C + 572 °F, accesorio: funda protectora del vástago, doble escala: °C Y °F, sensor largo de sonda de acero inoxidable, apagado automático después de 15 minutos sin operaciones.

#### **Especificaciones**

1. Tecla ON/OFF: ON/OFF: presione la tecla para encender/apagar el termómetro.

2. Tecla °C/°F: presione la tecla una vez para cambiar la unidad de temperatura.
3. Tecla HOLD: presione la tecla una vez para retener la lectura, y la pantalla LCD HOLD marca, luego presione la tecla una vez más para liberar la función HOLD.
4. Tecla máx./mín: presione la tecla una vez para mostrar la lectura de temperatura máxima, luego presione la tecla una vez más para mostrar la lectura de temperatura mínima, luego presione nuevamente para saltar a la temperatura normal.



*Figura 14. Termómetro tipo T con vástago BOECO.*

 **Medidor portátil de pH mV (HI8424):** Es un medidor de pH/mV portátil económico. Este medidor utiliza un conector BNC para la entrada del electrodo de pH que permite utilizar una amplia selección de electrodos de pH y ORP. Se suministra una sonda de temperatura separada para proporcionar una medición de pH con compensación de temperatura. El HI8424 es muy básico en operación con calibración automática de uno o dos puntos a cualquiera de los tres valores de tampón programados (pH 4.01, 7.01 y 10.01). La simplicidad en la operación y el precio económico han convertido al HI8424 en uno de los medidores más populares disponibles en el mercado.

**Características:**

1. **Resistente al agua:** carcasa compacta y resistente que está protegida contra cualquier entrada de agua que pueda dañar los componentes electrónicos.
2. **Calibración automática:** calibración en uno o dos puntos a cualquiera de los tres valores de tampón programados (pH 4.01, 7.01 y 10.01).
3. **Compensación automática de temperatura:** se suministra una sonda de temperatura separada para proporcionar mediciones compensadas de temperatura.
4. **Rango de alta resolución / precisión mV:** el HI8424 cambia automáticamente la resolución de 1 mV a 0.1 mV cuando las lecturas de ORP están entre -699.9 mV a + 699.9 mV. La precisión dentro de este rango es de  $\pm 0.2$  mV.
5. **Apagado automático:** la función de apagado automático apagará el medidor después de 20 minutos para conservar la vida útil de la batería.
6. **Indicador de batería baja:** se mostrará un indicador de batería baja cuando la vida útil de la batería esté casi agotada (5 % restante) alertando al usuario de que se necesitará una batería nueva en el futuro cercano.



*Figura 15. Medidor portátil de pH mV - HI8424.*

 **Manómetro de aire (enzo-sf):** Es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua,

aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas.

**Características:**

Diámetro del dial: 2.5 pulgadas

Presión: aire

Unidades: 0 -300 psi y 0 -20 bar

Conexión tipo: radial

Tipo de Conexión: macho 1/4 pulgadas NPT



*Figura 16. Manómetro de aire (enzo-sf).*

 **Manómetro digital de presión DPGM8001-10 :** Es un indicador de presión digital que ofrecen una precisión de punto terminal de 0,25 % de la escala completa en una unidad resistente fácil de usar. Todas las piezas húmedas están fabricadas con acero inoxidable lo que los hacen adecuados para una amplia variedad de líquidos y medios gaseosos industriales, esta serie presenta unidades técnicas seleccionables por el usuario, lo que permite que un indicador se utilice para variedad de presiones. El modelo DPG8001 tiene un min/max, valor mejorado frente al manómetro mecánico, pantalla LCD de 5 dígitos con dígitos grandes de 12.2 mm (0.48 pulgadas), unidades técnicas seleccionables por el usuario, con protección





realizaron mediante la tabulación de datos de forma ordenada, anotando la producción diaria de biogás. Posteriormente a partir de estas tablas se organizaron los datos en gráficos para su posterior análisis e interpretación.

Para la prueba de normalidad se utilizó el Test de Shapiro – Wilk, debido a que es considerada uno de los test más eficientes para el contraste de normalidad y por qué en la investigación contamos con datos menores a 50, para ello se utilizó el software SPSS.

Para la prueba de hipótesis se utilizó el estadístico de prueba de coeficiente de correlación de Pearson (“ $r_{xy}$ ”) y el estadígrafo de Z, son pruebas paramétricas debido a que los datos tanto a temperatura ambiental y a temperatura con acondicionamiento de cobertura presentan una distribución normal.

### **3.6.2. Procesamientos de análisis de datos**

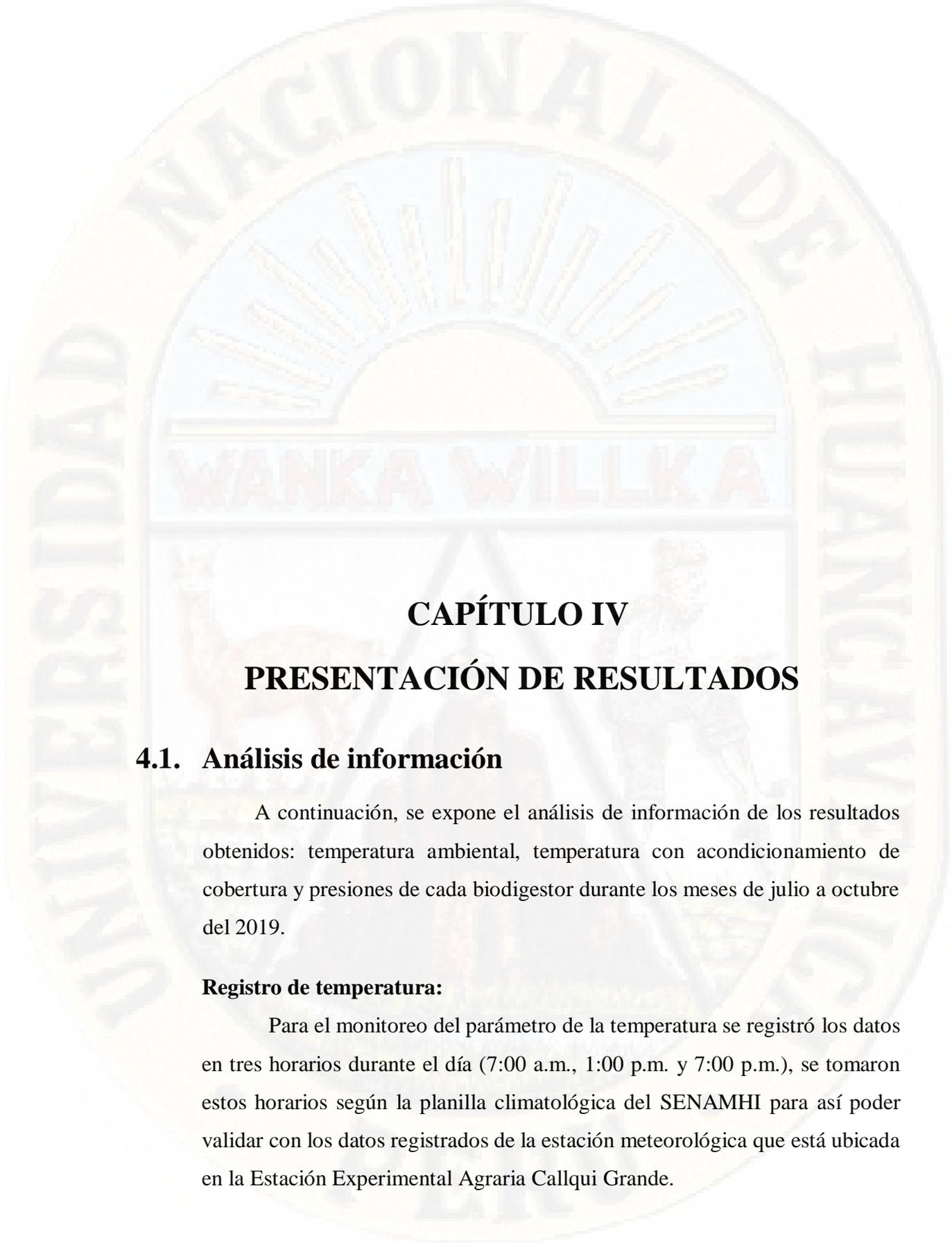
Según Hernández et al. (2010), una vez que los datos se han codificado, transferido a una matriz, guardado en un archivo y limpio de errores, el investigador procede a analizarlos. El análisis de los datos se efectúa sobre la matriz de datos utilizando un programa computacional, de siguiente manera.

- ❖ Paso 1: seleccionar un software apropiado para analizar los datos.
- ❖ Paso 2: ejecutar el programa: SPSS, Minitab, Stats, SAS u otro equivalente.
- ❖ Paso 3: explorar los datos:
  - a) Analizar descriptivamente los datos por variable.
  - b) Visualizar los datos por variable.
- ❖ Paso 4: evaluar la confiabilidad y validez lograda por el o los instrumentos de medición.
- ❖ Paso 5: analizar mediante pruebas estadísticas las hipótesis planteadas (Análisis estadístico referencial).

- ❖ Paso 6: preparar los resultados para presentarlos (tablas, gráficas, figuras, cuadros, etc.).

Por lo tanto, para la presente investigación se utilizó el software SPSS, para el análisis de los datos con la estadística inferencial, siguiendo los pasos ya mencionados.

- ❖ Para el tratamiento previo de datos se usó Microsoft office Excel.
- ❖ Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS.



## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis de información**

A continuación, se expone el análisis de información de los resultados obtenidos: temperatura ambiental, temperatura con acondicionamiento de cobertura y presiones de cada biodigestor durante los meses de julio a octubre del 2019.

##### **Registro de temperatura:**

Para el monitoreo del parámetro de la temperatura se registró los datos en tres horarios durante el día (7:00 a.m., 1:00 p.m. y 7:00 p.m.), se tomaron estos horarios según la planilla climatológica del SENAMHI para así poder validar con los datos registrados de la estación meteorológica que está ubicada en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.

Contando con los datos validados, para el análisis de datos se utilizó la temperatura máxima del día registrada a la 1:00 p.m., tomando como referencia a las investigaciones realizadas por (España , 2018) y (Huere et al., 2017).

#### **Registro de presión:**

En la investigación se midió la presión del gas ya que fue registrada dentro del prototipo herméticamente sellada, esto nos permitió obtener datos reales y confiables por que no fue alterado por la presión exterior.

Para el monitoreo del parámetro de presión se registró una vez por día en el horario de 1:00 p.m., ya que para el cálculo del volumen de biogás se trabajó con la temperatura máxima del día registrada en el mismo horario.

Para el análisis de datos se trabajó desde la primera hasta la última presión registrada, descartando valores nulos (sin presencia de presión).

### **4.1.1. Parámetros de monitoreo**

#### **4.1.1.1. Temperatura ambiental**

**Tabla 11**

*Resultados estadísticos de la temperatura ambiental del biodigestor*

<b>ESTADÍSTICO</b>		
<b>Temperatura ambiental del biodigestor (°C)</b>		
<b>N</b>	Validos	30
	perdidos	0
<b>Media</b>		17.76
<b>Mediana</b>		17.75
<b>Moda</b>		19.20
<b>Desviación típica</b>		2.11
<b>Rango</b>		9.70
<b>Mínimo</b>		11.20
<b>Máximo</b>		20.90

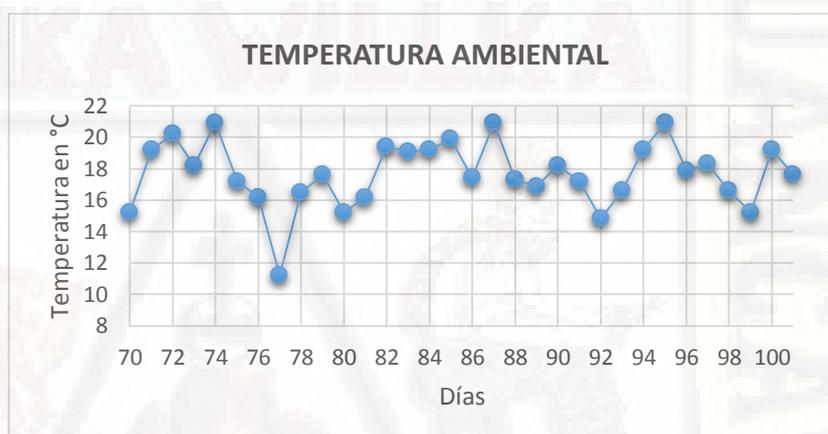
En la **tabla 11**, muestra los resultados estadísticos de la temperatura ambiental del biodigestor, donde se trabajó con 30 datos válidos del cual se obtuvo una temperatura promedio de 17.76 °C durante la producción de biogás, esta temperatura se encuentra dentro del rango óptimo (15 °C -18 °C) que pertenece

a la fermentación Psycrophilica según la **Tabla 2**; donde presentan un óptimo desarrollo de las bacterias Psycrophilicas.

Se observa que la mitad de los datos de la muestra tuvieron temperaturas ambientales menores de 17.75 °C.

La temperatura ambiental que más se repite en la muestra analizada es de 19.20 °C con una repetición de 4 veces.

La desviación estándar de los datos es de 2.11 respecto al promedio, esto representa que existe variación de temperatura ambiental.



*Figura 20. Registro de la temperatura ambiental del biodigestor.*

En la **figura 20**, se observa la temperatura ambiental del biodigestor durante la producción de biogás desde el día 71 al día 100, la oscilación de la temperatura del punto más bajo es de 11.2 °C registrada el día 21 de setiembre, a los 7 días de inicio de producción de biogás y los puntos más altos fueron 20.9 °C registradas los días 18 de setiembre, 1 y 9 de octubre; a los (4,18 y 26 días) de inicio de producción de biogás respectivamente.

Se apreciar que la variación de la temperatura ambiental durante el proceso de la digestión anaerobia fue fluctuante estando en un rango de (11.2 °C a 20.9 °C), proporcionando así un inadecuado habitat para la reproducción de los

microorganismos intervinientes en dicha digestión ocasionando así un mayor tiempo y menor volumen en la obtención de biogás.

#### 4.1.1.2. Temperatura con acondicionamiento de cobertura

**Tabla 12**

*Resultado estadístico de temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor*

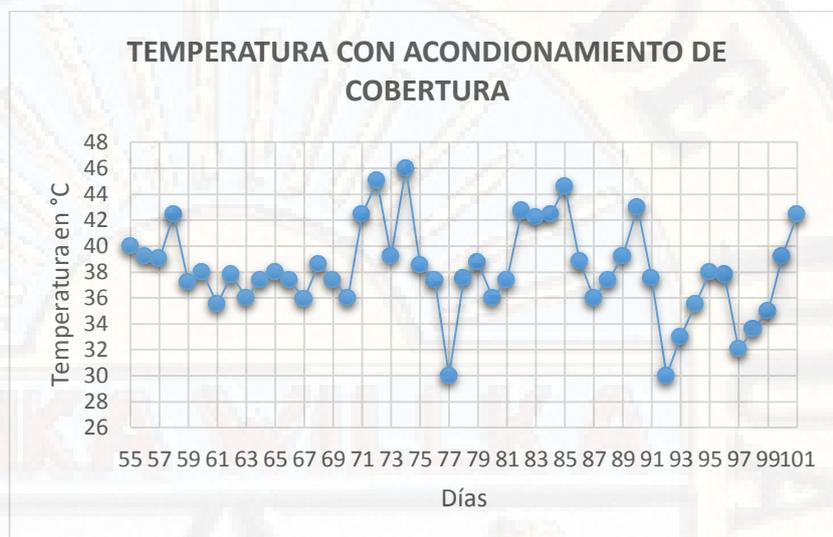
ESTADÍSTICOS		
Estadístico de temperatura con acondicionamiento de cobertura (°C)		
N	Validos	
	perdidos	0
<b>Media</b>		38.04
<b>Mediana</b>		37.80
<b>Moda</b>		37.40
<b>Desviación típica</b>		3.50
<b>rango</b>		16.00
<b>mínimo</b>		30.00
<b>máximo</b>		46.00

En la **tabla 12**, muestra los resultados estadísticos de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor, donde se trabajó con 45 datos válidos del cual se obtuvo una temperatura promedio de 38.04 °C durante la producción de biogás, esta temperatura se encuentra dentro del rango máximo de (35 °C – 45 °C) que pertenece a la fermentación Mesophilica según la **Tabla 2**; donde presentan un óptimo desarrollo de las bacterias Mesophilicas.

Se observa que la mitad de los datos de la muestra tuvieron temperaturas con acondicionamiento de cobertura menores de 37.80 °C.

La temperatura con acondicionamiento de cobertura que más se repite en la muestra analizada es la de 37.40 °C con una repetición de 5 veces.

La desviación estándar de los datos es de 3.50 respecto al promedio, esto representa que existe variación de temperatura con acondicionamiento de cobertura.



**Figura 21.** Registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.

En la **figura 21**, se observa la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor durante la producción de biogás desde el día 55 a 100, la oscilación de la temperatura de los puntos más bajos es de 30 °C registradas los días 21 de setiembre y el 6 de octubre, a los (23 y 38 días) de inicio de producción de biogás y los puntos más altos fueron 45 °C y 46 °C registradas los días 16 y 18 de setiembre respectivamente, a los (18 y 20 días) de inicio de producción de biogás. Estas temperaturas se lograron debido a que se le adicionó una estructura con forro doble de plástico agrofilm, cama para la base y cobertor de Ichu para todo el contorno del prototipo para mantener una temperatura adecuada.

Se apreciar que la variación de la temperatura con acondicionamiento de cobertura durante el proceso de la digestión anaerobia fue fluctuante estando en un rango de (30 °C a 46 °C), proporcionando así un adecuado habitat para la

reproducción de los microorganismos intervinientes en dicha digestión produciendo así en un menor tiempo y mayor volumen en la obtención de biogás.

#### 4.1.1.3. Presión a temperatura ambiental

**Tabla 13**

*Resultado estadístico de las presiones a temperatura ambiental del biodigestor*

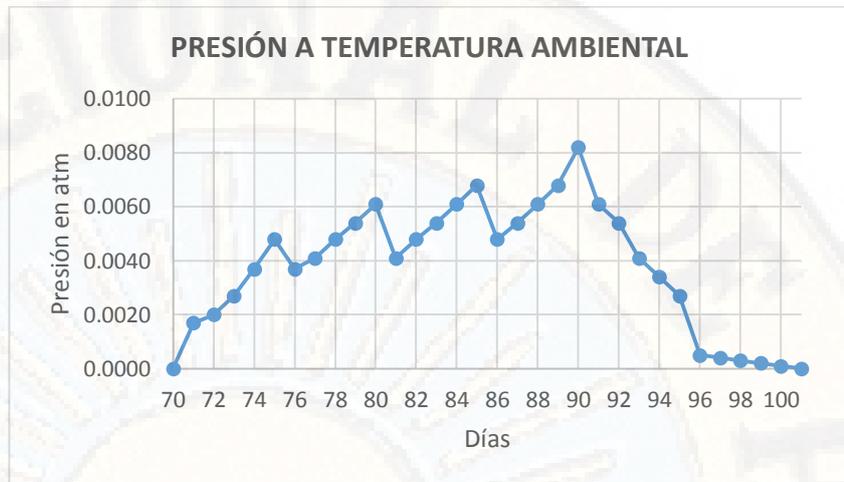
ESTADÍSTICOS		
Presión a temperatura ambiental del biodigestor (atm)		
N	Validos	30
	perdidos	0
<b>Media</b>		0.0040
<b>Mediana</b>		0.0044
<b>Moda</b>		0.0054
<b>Desviación típica</b>		0.0022
<b>rango</b>		0.0081
<b>mínimo</b>		0.0001
<b>máximo</b>		0.0082

En la **tabla 13**, se muestra los resultados estadísticos de la presión a temperatura ambiental del biodigestor, donde se trabajó con 30 datos válidos del cual se obtuvo una presión promedio de 0.0040 atm durante la producción de biogás, esta presión se define como la fuerza que actúa o es ejercida dentro del biodigestor.

Se observa que la mitad de los datos de la muestra tuvieron presiones a temperatura ambiental menores de 0.0044 atm.

La presión a temperatura ambiental que más se repite en la muestra analizada es de 0.0054 atm con una repetición de 4 veces.

La desviación estándar de los datos es de 0.0022 atm, esto representa similar dispersión respecto al valor promedio.



**Figura 22.** Registro de presiones a temperatura ambiental del biodigestor.

En la **figura 22**, se observa las presiones a temperatura ambiental del biodigestor durante el tiempo de producción de biogás desde el día 71 a 100, la oscilación de la presión del punto más bajos es de 0.0001 atm registrada el 14 de octubre al último día de producción de biogás y el punto más alto fue de 0.0082 atm registrada el 4 de octubre a los 21 días de la producción de biogás. Debido a que la temperatura registrada en este biodigestor fue fluctuante ya que tiene una relación directa con la presión.

En esta figura se apreciar que la variación de las presiones durante el proceso de la digestión anaerobia fue bastante fluctuante ya que presenta caídas bruscas a partir del punto máximo de presión.

A partir del día 101 ya no se registró las presiones a temperatura ambiental, debido a que la presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura fue nula.

#### 4.1.1.4.Presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura

Tabla 14

*Resultado de presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor*

ESTADÍSTICO		
Presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor (atm)		
N	Validos	45
	perdidos	0
Media		0.0066
Mediana		0.0068
Moda		0.0068
Desviación típica		0.0032
rango		0.1160
mínimo		0.0006
máximo		0.0122

En la **tabla 14**, muestra los resultados estadísticos de la presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor, donde se trabajó con 45 datos válidos del cual se obtuvo una presión promedio de 0.0066 atm durante la producción de biogás, esta presión se define como la fuerza que actúa o es ejercida dentro del biodigestor.

Se observa que la mitad de los datos de la muestra tuvieron presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura menores de 0.0068 atm.

La presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura que más se repite en la muestra analizada es de 0.0068 atm con una repetición de 5 veces.

La desviación estándar de los datos es de 0.0032 atm, esto representa similar dispersión respecto al valor promedio.



**Figura 23.** Registro de presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.

En la **figura 23**, se observa las presiones a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor durante el tiempo de producción de biogás desde el día 55 a 100, la oscilación de la presión del punto más bajos es de 0.0006 atm registrada el 14 de octubre al último día de producción de biogás y el punto más alto fue de 0.0122 atm registrada el 29 de setiembre a los 30 días de la producción de biogás. Debido a que la temperatura con acondicionamiento de cobertura registrada en este biodigestor fue fluctuante con temperaturas más altas ya que tiene una relación directa con la presión.

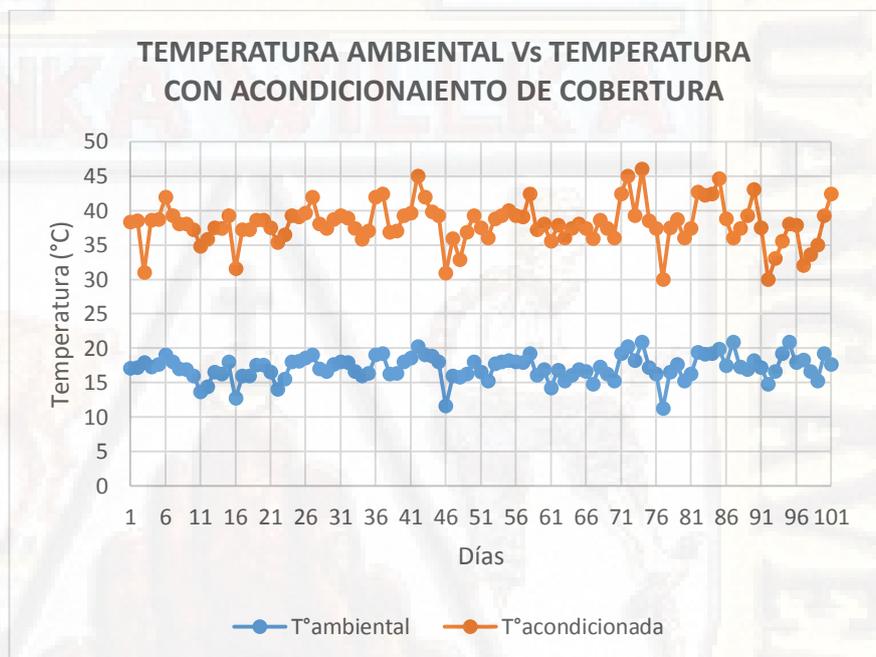
En la figura se apreciar que la variación de las presiones durante el proceso de la digestión anaerobia fue fluctuante hasta el punto máximo de producción, a partir de ello empieza a descender de manera constante y leve.

A partir del día 101 ya no hay presencia de presión, culminando así con la producción de biogás.

## 4.1.2. Comparación de parámetros de monitoreo

### 4.1.2.1. Temperatura ambiental Vs Temperatura con acondicionamiento de cobertura

En la **figura 24**, se observa la oscilación de la temperatura ambiental y la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor durante el periodo de 100 días donde se registró diariamente los datos a la 1:00 p.m. Debido a que dicha hora también se registraron las presiones, los datos de temperatura ambiental fueron validados con los datos del SENAMHI.

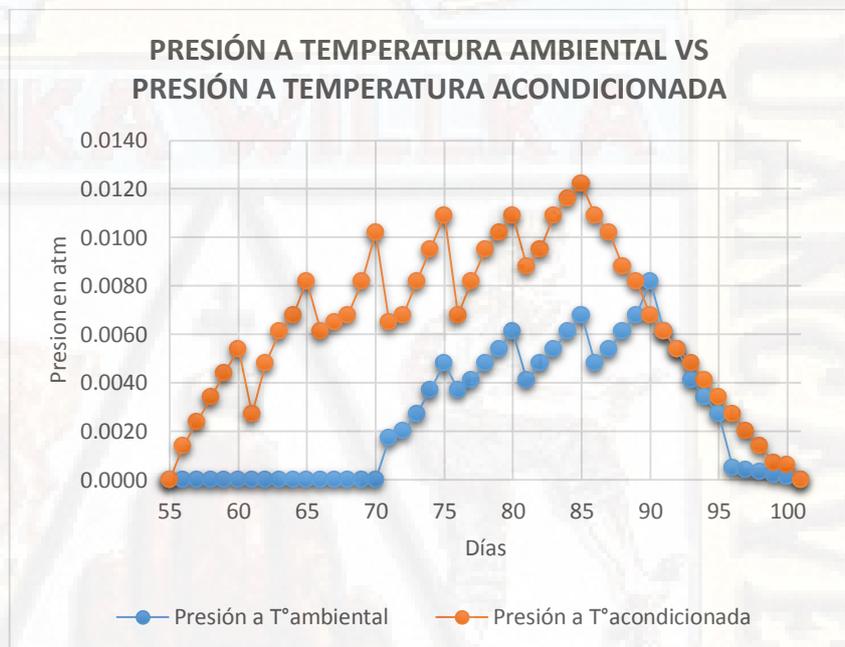


**Figura 24.** Registro de la temperatura ambiental comparada con la temperatura con acondicionamiento de cobertura.

En la figura se aprecia que el pico más alto de la temperatura ambiental del biodigestor es de 20.9 °C mientras que el de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor es de 46 °C y los picos más bajos son 11.2 °C y 30 °C respectivamente, se lograron temperaturas altas en el biodigestor acondicionado en comparación al biodigestor a la intemperie como se muestra en la figura.

#### 4.1.2.2. Presión a temperatura ambiental Vs Presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura

En la **figura 25**, se observa la variación de las presiones a temperatura ambiental y a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor durante el periodo de inicio de producción de biogás, donde se registró diariamente los datos a la 1:00 p.m. Debido a que dicha hora también se registraron la temperatura ambiental que fue validada con los datos del SENAMHI.



**Figura 25.** Registro de la presión a temperatura ambiental comparada con la presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura.

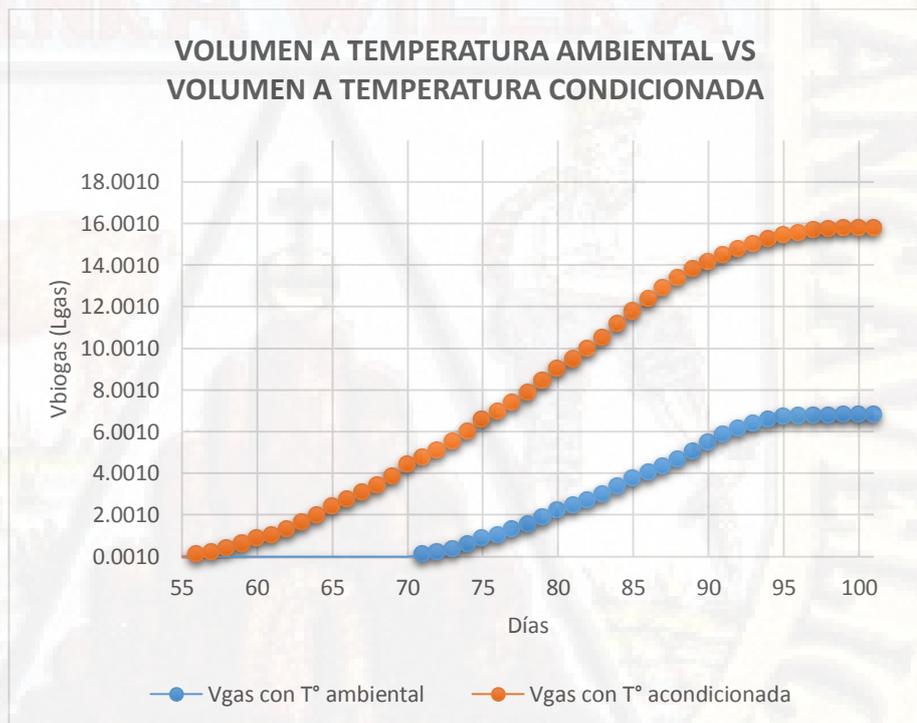
En la figura se aprecia que el pico más alto de la presión a temperatura ambiental del biodigestor es de 0.0082 atm mientras que de la presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor es de 0.0122 atm y los picos más bajos son 0.0001 atm y 0.0006 atm respectivamente, esto se debe a la variación de temperatura de los biodigestores.

Se puede apreciar que la primera presencia de presión a temperatura con acondicionamiento de cobertura fue registrada a los 56 días de instalación del biodigestor, en caso de la presión a

temperatura ambiental se registró a los 71 días de instalación del biodigestor.

#### 4.1.3. Producción de biogás

En la **figura 26**, se observa la variación del volumen en el tiempo de producción de biogás a temperatura ambiental y a temperatura con acondicionamiento de cobertura durante el periodo de 30 días y 45 días respectivamente, para calcular la producción de biogás del biodigestor se realizó mediante la fórmula de los gases ideales especificado en el capítulo de la metodología donde se trabajó con la temperatura y presión obtenidos en campo.



**Figura 26.** Registro del volumen del biogás a temperatura ambiental comparada con el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura.

En la figura se observa una gran diferencia en el tiempo de inicio y volumen de producción de biogás donde el volumen acumulado a temperatura ambiental del biodigestor es de 6.8 L de biogás durante el periodo de 30 días, iniciando el 15 de setiembre a los 71 días de instalación y finalizando el 14 de octubre, mientras que el volumen

acumulado a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor es de 15.8 L de biogás durante el periodo de 45 días, iniciando el 31 de agosto a los 56 días de instalación y finalizando el 14 de octubre.

El tiempo de inicio y el volumen de producción de biogás indicados se debe a que el rango de la temperatura ambiental del biodigestor fue de 11.2 °C a 20.9 °C siendo esta menor a la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor que fue de 30 °C a 46 °C.

## **4.2. Prueba de normalidad**

Para poder comprobar la normalidad de nuestros datos obtenidos se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk, debido a que es considerada uno de los test más eficientes para el contraste de normalidad y por qué en la investigación contamos con datos menores a 50, para ello se utilizó el software SPSS.

### **4.2.1. Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura ambiental**

**Paso N° 1:** Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** La producción de biogás a temperatura ambiental sigue una distribución normal.

**Ha:** La producción de biogás a temperatura ambiental no sigue una distribución normal.

**Paso N° 2:** Para poder aceptar o rechazar la hipótesis planteada se calcula el valor “P”.

P valor > NS( $\alpha$ ), entonces se acepta la Ho y se rechaza la Ha

P valor < NS( $\alpha$ ), entonces se rechaza la Ho y se acepta la Ha

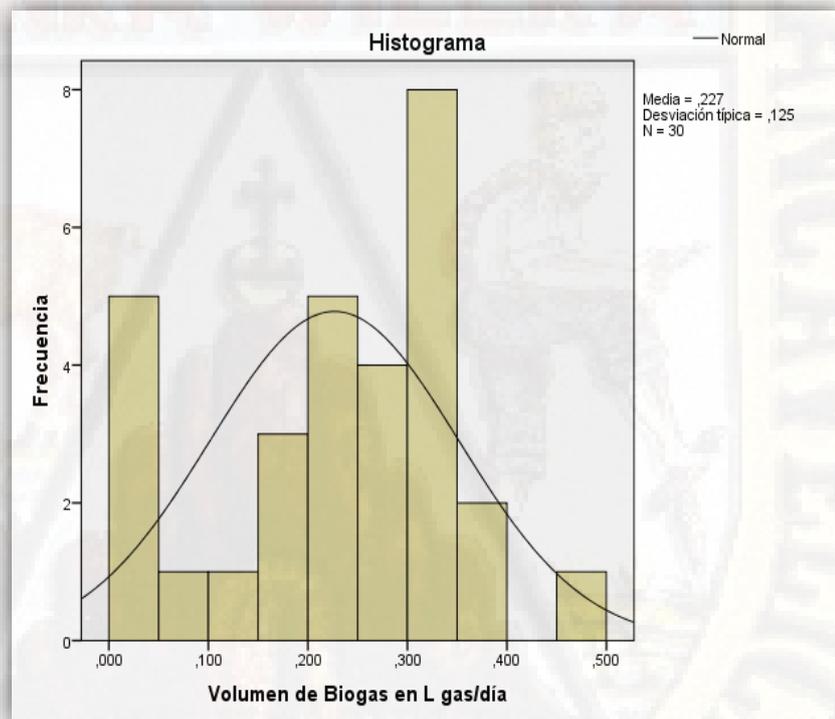
Para la prueba se utilizó un nivel de significancia del 95 %.

**Tabla 15**

*Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura ambiental*

<b>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk</b>				
Volumen de biogás a temperatura ambiental (Lgas)	Estadístico		p valor	
		<b>W</b>	0.941	<b>Pr &lt; W</b>

**Paso N° 3:** Se observa, que el P valor (0.094) es mayor que  $\alpha = 0.05$ . por lo tanto, se acepta la hipótesis nula concluyendo así que la producción de biogás a temperatura ambiental sigue una distribución normal.



**Figura 27.** Histograma de la prueba de normalidad de la producción de biogás a temperatura ambiental.

En la **figura 27**, se observa que los datos obtenidos de la producción de biogás a temperatura ambiental se ajustan a una normalidad respecto a la media, por lo tanto, los datos presentan una distribución normal.

#### 4.2.2. Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura

**Paso N° 1:** Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** La producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura sigue una distribución normal.

**Ha:** La producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura no sigue una distribución normal.

**Paso N° 2:** Para poder aceptar o rechazar la hipótesis planteada se calcula el valor “P”.

P valor > NS( $\alpha$ ), entonces se acepta la Ho y se rechaza la Ha

P valor < NS( $\alpha$ ), entonces se rechaza la Ho y se acepta la Ha

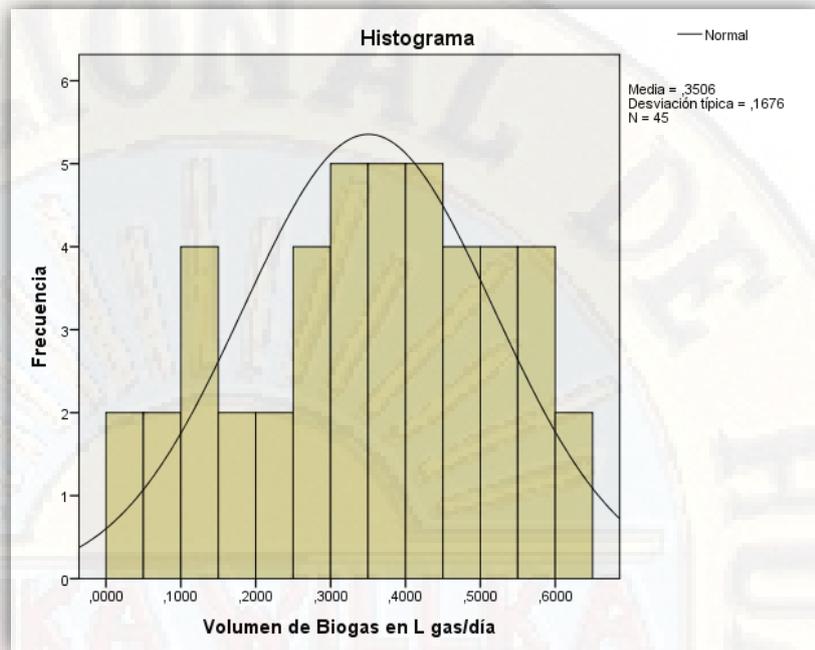
Para la prueba se utilizó un nivel de significancia del 95 %.

**Tabla 16**

*Prueba de normalidad para la producción de biogás a temperatura (°C) con acondicionamiento de cobertura*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk				
Volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)	Estadístico		p valor	
	W	0.960	Pr < W	0.127

**Paso N° 3:** Se observa, que el P valor (0.127) es mayor que  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto, se acepta la hipótesis nula concluyendo así que la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura sigue una distribución normal.



**Figura 28.** Histograma de la prueba de normalidad de la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura.

En la **figura 28**, se observa que los datos obtenidos de la producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura se ajustan a una normalidad respecto a la media, por lo tanto, los datos presentan una distribución normal.

### 4.3. Prueba de hipótesis

Como señala Hernández et al. (2010), la contrastación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la Hipótesis:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo " $\alpha$ ".
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño " $n$ ".

6. Decisión estadística: rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) igual en el otro caso como el presente usar la tabla de baremos.

#### 4.3.1. Prueba de hipótesis para los objetivos

##### **Paso 1: Planteamiento de hipótesis**

###### **Hipótesis estadística general**

$H_0$ : La temperatura no tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

$H_a$ : La temperatura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

Por lo tanto, definimos de la siguiente manera:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

###### **Hipótesis estadística específica 1**

$H_0$ : La temperatura ambiental no tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

$H_a$ : La temperatura ambiental tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

###### **Hipótesis estadística específica 2**

$H_0$ : La temperatura con acondicionamiento de cobertura no tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

H<sub>a</sub>: La temperatura con acondicionamiento de cobertura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excreta de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.

### **Paso 2: Nivel de significación**

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir:  $\alpha = 0.05$ , por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con  $1 - \alpha = 0.95$ .

### **Paso 3: Estadístico de prueba**

Se realizó un análisis bivariado de datos y el estadístico de prueba utilizado fue el coeficiente de correlación de Pearson (" $r_{xy}$ "), una prueba paramétrica debido a que los datos de producción de biogás a temperatura ambiental y temperatura con acondicionamiento de cobertura presentan una distribución normal, el SPSS contiene en su algoritmo computacional la fórmula:

$$r_{xy} = \frac{n \sum X * Y - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

#### **Donde:**

$r_{xy}$  = Coeficiente de correlación de Pearson.

$\sum X * Y$  = Sumatoria de los productos de ambas variables.

$\sum X$  = Sumatoria de la variable dependiente.

$\sum Y$  = Sumatoria de la variable independiente.

$\sum X^2$  = Sumatoria de los valores al cuadrado de la variable dependiente.

$\sum Y^2$  = Sumatoria de los valores al cuadrado de la variable independiente.

**n** = Tamaño de muestra.

Para determinar cuál de las temperaturas tiene mayor influencia se utilizó el estadígrafo de prueba de Z.

$$Z = \frac{\bar{X} - u}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}}$$

**Donde:**

$\bar{x}$  = media muestral

$\mu$  = valor hipotético de  $\mu$

$s$  = desviación estándar

$n$  = tamaño de la muestra

#### **Paso 4: Valor crítico y regla de decisión**

A partir de la hipótesis estadística planteada para un nivel de confianza de 95 % con un error  $\alpha = 0.05$  en la tabla o baremo usado para la toma de decisiones de acuerdo al valor “r” o índice de correlación será la siguiente:

**Tabla 17**

*Escala de la correlación de Pearson*

<b>VALOR</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>-1</b>	Correlación negativa grande y perfecta
<b>-0.9 a -0.99</b>	Correlación negativa muy alta
<b>-0.7 a -0.89</b>	Correlación negativa alta
<b>-0.4 a -0.69</b>	Correlación negativa moderada
<b>-0.2 a -0.39</b>	Correlación negativa baja
<b>-0.01 a -0.19</b>	Correlación negativa muy baja
<b>0</b>	Correlación nula
<b>0.01 a 0.19</b>	Correlación positiva muy baja
<b>0.2 a 0.39</b>	Correlación positiva baja
<b>0.4 a 0.69</b>	Correlación positiva moderada
<b>0.7 a 0.89</b>	Correlación positiva alta
<b>0.9 a 0.99</b>	Correlación positiva muy alta
<b>1</b>	Correlación positiva grande y perfecta

A partir de nuestras hipótesis planteadas la  $H_a (\neq)$  nos indica dos colas, con un nivel de confianza al 95 %. Por lo tanto, el Z crítico de intervalo será igual a 1,96.

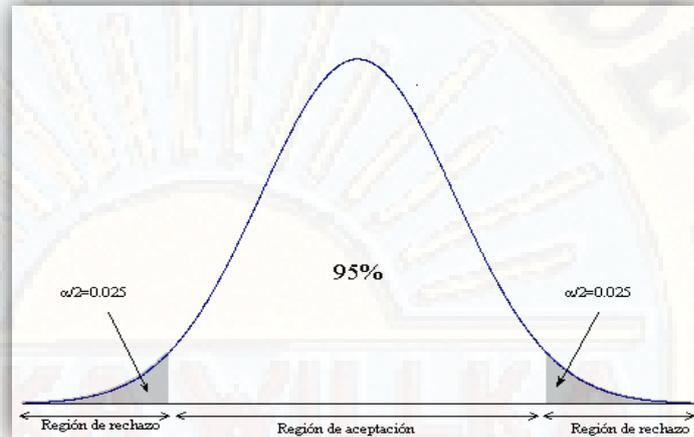


Figura 29. Campana de Gauss para la prueba de hipótesis.

### Paso 5: Cálculo de los estadígrafos de prueba

Resumen de la prueba de correlación de Pearson para las hipótesis estadísticas planteadas:

#### Hipótesis estadística general

Tabla 18

Resumen de la correlación de Pearson para la prueba de hipótesis estadística general

Correlaciones			
		Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)	Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)
Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)	Correlación de Pearson	1	.994**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	30	30
Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)	Correlación de Pearson	.994**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	30	30

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**Tabla 19***Resumen de la prueba de Z para la hipótesis estadístico general*

<b>Prueba Z de muestras relacionadas hipótesis general</b>					
		Diferencias relacionadas	Z	gl	Sig. (bilateral)
		Media			
Par 1	- Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)				
	- Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)	-7.5214	-29.195	29	.000

**Hipótesis estadística específica 1****Tabla 20***Resumen de la correlación de Pearson para la prueba de hipótesis estadística específica 1*

<b>Correlaciones</b>			
		Tiempo de producción de biogás (días)	Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)
Tiempo de producción de biogás (días)	Correlación de Pearson	1	,990**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	30	30
Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)	Correlación de Pearson	.990**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	30	30

\*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**Tabla 21***Resumen de la prueba de Z para la prueba de hipótesis estadística específica 1*

		Diferencias relacionadas	z	gl	Sig. (bilateral)
		Media			
Par 1	- Tiempo de producción de biogás (días) - Producción de biogás a temperatura ambiental (Lgas)	81.6914	69.672	29	.000

**Hipótesis estadística específica 2****Tabla 22***Resumen de la correlación de Pearson de la prueba de hipótesis estadística específica 2*

<b>Correlaciones</b>			
		Tiempo de producción de biogás (días)	Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)
Tiempo de producción de biogás (días)	Correlación de Pearson	1	.994**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	45	45
Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)	Correlación de Pearson	.994**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	45	45

\*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

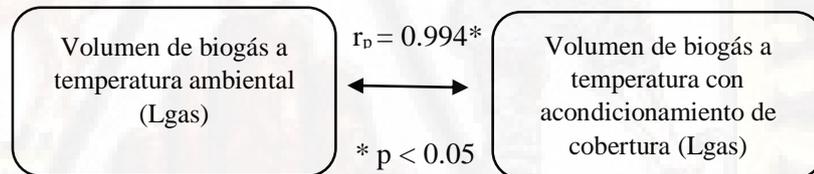
**Tabla 23**

*Resumen de la prueba de Z para la prueba de hipótesis estadística específica 2*

<b>Prueba Z de muestras relacionadas hipótesis específica 2</b>					
		Diferencias relacionadas	Z	gl	Sig. (bilateral)
		Media			
Par 1	- Tiempo de producción de biogás (días) - Producción de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura (Lgas)	69.8255	60.998	44	.000

**Paso 6: Decisión estadística**

**Hipótesis estadística general**



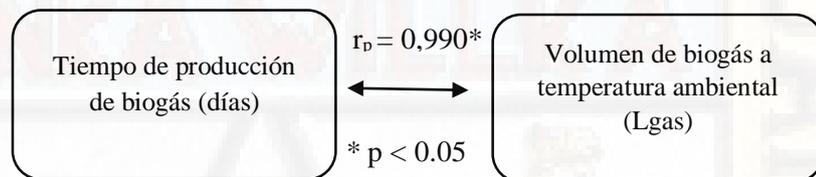
Decisión estadística para la hipótesis general: se tiene un nivel de significancia calculado de 0.00, menor al p valor (0.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; entonces existe una asociación lineal entre el volumen de biogás a temperatura ambiental y el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura.

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0.994, esta relación es muy alta positiva (estando en la escala de 0.9 a 0.99) y directamente proporcional (tiene signo positivo).

Si  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , teniendo un valor absoluto de 29.195 y un valor Z crítico de 1.96 por lo tanto: se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

En la prueba de medias se determinó una diferencia de 7.521, por lo que se afirma que: la temperatura con acondicionamiento de cobertura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás con respecto a la temperatura ambiental realizadas en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

### Hipótesis estadística específica 1



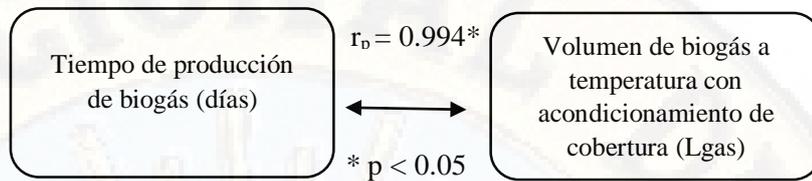
Decisión estadística para la hipótesis específica 1: se tiene un nivel de significancia calculado de 0.00, menor al p valor (0.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; entonces existe una asociación lineal entre el tiempo de producción de biogás y el volumen a temperatura ambiental.

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0.990, esta relación es muy alta positiva (estando en la escala de 0.9 a 0.99) y directamente proporcional (tiene signo positivo).

Si  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , teniendo un valor absoluto de 69.672 y un valor Z crítico de 1.96 por lo tanto: se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Concluyendo: “La temperatura ambiental tiene una influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de estiércol de bovino en el centro poblado de Callqui Grande – Huancavelica, presentando una correlación muy alta positiva de acuerdo al baremo de correlación”.

## Hipótesis estadística específica 2



Decisión estadística para la hipótesis específica 2: se tiene un nivel de significancia calculado de 0.00, menor al p valor (0.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; entonces existe una asociación lineal entre el tiempo de producción de biogás y el volumen a temperatura con acondicionamiento de cobertura.

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0.994, esta relación es muy alta positiva (estando en la escala de 0.9 a 0.99) y directamente proporcional (tiene signo positivo).

Si  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , teniendo un valor absoluto de 60.998 y un valor Z crítico de 1.96 por lo tanto: se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Concluyendo: “La temperatura con acondicionamiento de cobertura tiene una influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de estiércol de bovino en el centro poblado de Callqui Grande – Huancavelica, presentando una correlación muy alta positiva de acuerdo al baremo de correlación”

## **4.4. Discusión de resultados**

### **Producción de biogás**

Diversas investigaciones destacan el potencial energético del biogás producido a partir del estiércol de animales, así como el consecuente mejoramiento en la gestión de residuos agropecuarios y sus beneficios (Luna, 2018; Basauri & Terrones, 2018) es por ello que surge la necesidad del aprovechamiento de excretas de bovino para la producción de biogás con el fin de disminuir los efectos negativos y contaminantes de gases; para poder conllevar al desarrollo del centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica y por ende de nuestro país, así como mejorar el nivel de vida de las personas primordialmente de los afectados directamente por la problemática.

### **Biomasa (excretas de bovino)**

En la presente investigación se utilizó excretas de bovino como fuente de biomasa para la producción de biogás ya que este sustrato es reconocido como una excelente base para el desarrollo del proceso de digestión anaeróbica debido que presenta una alta capacidad de amortiguación y un gran contenido de nutrientes necesarios para el desarrollo de las poblaciones anaeróbicas. A su mismo Luna (2018), en su estudio realizado muestra que el biogás producido a partir de excretas de ganado vacuno registran valores altos de  $\text{CH}_4$  con un porcentaje de 46.67 % a comparación de las excretas de equino que fue de 44.54 % y camélido con 41.33 %.

### **Parámetro de arranque (pH)**

Para el arranque de la digestión anaerobia se midió el parámetro de pH en los dos biodigestores (a temperatura ambiental y a temperatura con acondicionamiento de cobertura), en la mezcla de la excreta de bovino y agua se obtuvo el valor de 6.9; según Toala (2013) el rango de pH óptimo es de 6.6 a 7.6 para el desarrollo adecuado de la biodigestión anaerobia. Por otro lado Varnero (2011) en el Manual de biogás menciona que el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8 para que la digestión se desarrolle satisfactoriamente y producir

biogás rico en metano teniendo cualidades energéticas; por lo cual el valor obtenido se encuentra dentro del rango óptimo de los autores mencionados.

### **Influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás**

A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis alterna general donde se establece que la temperatura tiene influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande – Huancavelica.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Almanza (2011), Apaza (2013), Luna (2018) y Huere et al. (2017), quienes señalan que la temperatura es uno de los parámetros más importantes ya que tiene influencia en la velocidad de crecimiento de los microorganismos intervinientes en la digestión anaerobia y con ello en la producción de biogás. Ello es acorde con los resultados obtenidos en la presente investigación.

### **Influencia de la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás**

En lo que respecta a la influencia de la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás; el biodigestor fue ubicado en un área plana a la intemperie a una altitud de 3,701 m.s.n.m., registrando la presión inicial a 71 días de instalación y finalizando a los 100 días, con una producción de volumen acumulado igual a 6.8 L de biogás; durante el tiempo de estudio se presentaron pérdidas de calor y variaciones de temperatura entre los valores de 11.20 °C a 20.90 °C, siendo esta registrada en días nublados y en días soleados respectivamente. Donde se obtuvo una temperatura promedio de 17.76 °C, la operación del biodigestor se encuentra dentro del rango óptimo de (15 °C a 18 °C) perteneciendo a la fermentación Psicrófila donde presentan un óptimo desarrollo para los microorganismos en la digestión anaerobia según (Varnero, 2011), estos resultados no se pueden comparar con otros estudios debido a que las investigaciones realizadas a altitudes similares y/o mayores a la del estudio presente, manipulan las temperaturas con el fin de proporcionar un adecuado hábitat para los microorganismos. Como por ejemplo Rojas et al. (2016),

Almanza (2011) y Apaza (2013) en sus investigaciones realizadas a altitudes de 4,200 m.s.n.m., 3,340 m.s.n.m. y 4,062 m.s.n.m. respectivamente, acondicionaron los biodigestores con invernaderos y materiales de la zona de estudio.

### **Influencia de la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás**

En lo que respecta a la influencia de la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás, el biodigestor presentó una presión inicial a 56 días de instalación y finalizó a los 100 días, con una producción de volumen acumulado igual a 15.8 Lgas, debido a que se instaló una estructura de madera forrada con doble capa de plástico agrofilm, donde se le adiciona una cama y un cobertor para todo el contorno del biodigestor con Ichu de acuerdo a Rojas et al. (2016), pudiendo disminuir en mayor parte las pérdidas de calor y mantener temperaturas por encima de 30 °C dentro el biodigestor, llegando a una temperatura de 46 °C en días soleados. Estos resultados guardan relación con el estudio de Huere et al. (2017), donde obtuvo una temperatura por encima de 31 °C y una temperatura máxima de 37 °C, para su investigación instalaron el biodigestor dentro de un invernadero; este resultado es similar al estudio de Apaza (2013), donde implementa un invernadero para el biodigestor obteniendo temperaturas de 26.7 °C a 37.4 °C. Por otro lado, en comparación con Salazar et al. (2012) en su estudio obtuvo temperaturas en el rango de 30 °C a 40 °C, siendo esta acondicionada bajo tierra y cubierta con plástico. Por lo tanto los rangos de temperatura de nuestro estudio realizado es mayor a los autores mencionados, esto se debe porque le adicionó un cobertor de Ichu al biodigestor.

En el trabajo de investigación de Quintero & Rondón (2012) mencionan que, si bien la actividad hidrolítica del proceso no se ve inhibida por la temperatura entre los 25 °C y 40 °C en condiciones controladas, la producción de metano sí, por cuanto la temperatura afecta directamente a las velocidades de reacción biológicas, influenciando la actividad metabólica de los microorganismos intervinientes en la digestión anaerobia. En vista de ello,

las temperaturas registradas durante la investigación se encuentran dentro del rango de temperatura mencionada por Quintero & Rondón, (2012) proporcionando una mayor degradación de materia orgánica que finalmente sirve de alimento para las bacterias que intervienen en las demás etapas.

El tiempo de producción de biogas a temperatura con acondicionamiento de cobertura se dio inicio a 56 días de instalación del biodigestor y un tiempo de retención hidráulica de lodo (TRH) de 100 días, esto se debe a las temperaturas registradas que aceleran el inicio de la producción de biogás; este resultado es menor a lo obtenido en el estudio de Almanza (2011) donde obtuvo un tiempo de retención hidráulico de lodo de 120 días, debido a que el rango de la temperatura es menor respecto a nuestra investigación.

## CONCLUSIONES

- Se concluye que el proceso de la digestión anaerobia se desarrolló satisfactoriamente, produciendo biogás muy rico en metano con mejores cualidades energéticas; debido a que el pH para el arranque de los biodigestores fue 6.95, estando este valor dentro de los rangos descritos por diversos autores.
- La temperatura ambiental tuvo influencia significativa en el tiempo de producción de biogás, presentando oscilaciones de temperatura de 11.20 °C a 20.90 °C siendo registradas en los días de frío y soleado respectivamente, por lo que se concluye que este parámetro presenta fluctuación en el proceso de la digestión anaerobia, iniciando la producción de biogás en un mayor tiempo (siendo a los 71 días de instalación del prototipo) con un volumen acumulado de 6.8 L de biogás.
- La temperatura con acondicionamiento de cobertura tuvo influencia significativa en el tiempo de producción de biogás, presentando oscilaciones de temperatura de 30 °C a 46 °C siendo registradas en días de frío y soleado respectivamente, por lo que se concluye que este parámetro presenta fluctuación en el proceso de la digestión anaerobia con temperaturas superiores a las registradas en el biodigestor a temperatura ambiental, iniciando la producción de biogás en un menor tiempo (siendo a los 56 días de instalación del prototipo) con un volumen acumulado de 15.8 L de biogás.
- Finalmente concluimos que al adicionar la estructura de madera con doble forro de plástico agrofilm, cama y cobertor para el contorno del biodigestor con Ichu; se registró temperaturas mayores a las del biodigestor a temperatura ambiental durante picos fríos del exterior.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más investigaciones sobre el tema, ya que es una estrategia que debe ser implementada para mitigar los impactos ambientales negativos que genera los residuos pecuarios, manteniendo este sistema como una estrategia para el manejo adecuado de los residuos pecuarios.
- Se recomienda ampliar el estudio utilizando como biomasa excreta de camélidos, debido a que en las zonas alto andinas de la región de Huancavelica en mayor parte se dedican a la crianza de alpacas, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechando el biogás mediante energía eléctrica, mejorando así la calidad de vida de las diversas familias.
- Se recomienda a la Estación Experimental Agraria Callqui Grande – Huancavelica, utilizar la presente tesis como referencia para un proyecto a mayor escala, con el fin de disminuir la contaminación por excretas de bovino, aprovechar la producción de biogás, biol y bioabono para sus diversos cultivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza , F. (2011). *Construcción y evaluación de un biodigestor modelo chino mejorado para zonas andinas*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco . Obtenido de [http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/826/253T20110001.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR175YIRxQErhIOkr8iQv3VsYtuQfe\\_WvMqYHbny\\_Kti0tV6EuScoDad5lQ](http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/826/253T20110001.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR175YIRxQErhIOkr8iQv3VsYtuQfe_WvMqYHbny_Kti0tV6EuScoDad5lQ)
- Apaza, D. E. (2013). *Compostaje y biodigestión con subproductos de camal en Puno*. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación* (Vol. 6° Edición). Caracas, Venezuela: EPISTEME, C.A.
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Universidad de Piura, Piura.
- Ávila, E. (2009). *Biogás: opción real de seguridad energética para México*. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Avila, C. (2016). *Uso de biodigestores en la industria pecuaria*. Universidad Autonoma del Estado de México, Toluca, México.
- Baptista, J. (1630). *Determinación de la descomposición de la materia orgánica*. Bruselas, Bélgica.
- Basauri, D. J., & Terrones, J. F. (2018). *Producción de biogás utilizando contenido ruminal, como alternativa de plan de manejo ambiental de los residuos orgánicos generados en el camal municipal de Cajamarca*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca.
- Camarena, M. A. (2012). *Estudio de la influencia del tiempo de fermentación en la producción de biogás apartir de las excretas de ganado de vacuno*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/97489186/Tesis-de-Biogas?fbclid=IwAR39hSkWlmgfr5gHJNNAgic3c2WWsFv0M4qiZ8rRN MucGhdKRVhdgzhU570>

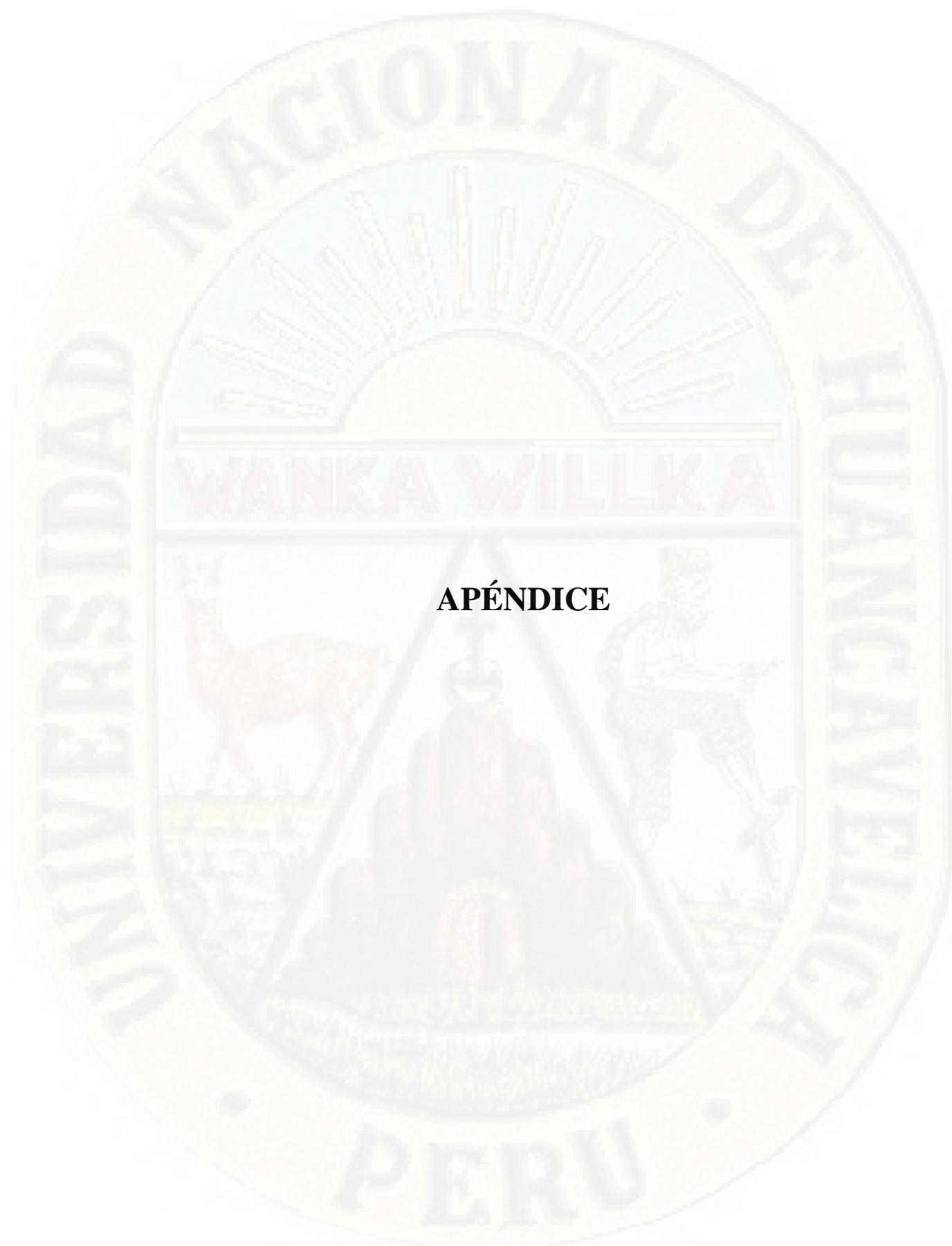
- Carmona, J., Bolivar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y amenorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 50 - 51. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Chancha, J. M., & Flores, A. D. (2017). *Implementación de un biodigestor piloto unifamiliar para la obtención y caracterización de biogás de uso calorífico a base de estiércol vacuno*. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Coma, J., & Bonet, J. (2004, Noviembre 22 y 23). Producción ganadera y contaminación ambiental. *Researchgate*, 1.
- CONSITTEG, (2006). Consejo de ciencia y tecnología del Estado de Guanajuato. *Biogás y biometanación*. México, pág. 14.
- Cornejo , E. (2012). *Produccion de biogás a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de gaado vacuno) En la E.E.A El Porvenir - Distrito de Juan Guerra .* Universidad de San Martín, Tarapoto .
- Criollo, E. C., & Guzman, A. C. (2014). *Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás apartir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo*. Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Díaz de Basurto, A. (2013). *Diseño, Construcción y puesto en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia)*. Escuela Técnica d'Enginyeria de Camins, Barcelona.
- España , E. J. (2018). *Aprovechamiento del estiercol de vacuno para la elaboracion de biogas como propuesta al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la Granja Ecologica Linderos*. Universidad de Huanuco, Ambo, Huanuco. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1461/ESPA%C3%91A%20QUINTANA%2C%20Emperatriz%20Jamil%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- FAO. (2006, Noviembre 29). Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. *La ganadería amenaza el medio ambiente*, pág. 1. Obtenido de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F. G., & Gave, J. L. (2011). *Como aprender y enseñar investigación científica* (Vol. 1ra Edición). Huancavelica.
- Gonzales, R. (2008). Los tratamientos biológicos de los residuos orgánicos. Valencia, España.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P.(2010). *Metodología de la investigación*. (5ta. Edición) Mexico: McGraw-Hill.
- Hernández, A. (2016). *El potencial de los biodigestores como técnica sostenible para la producción de biogás en la comunidad indígena Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michuacán*. Universidad Autónoma de México, Michoacán, México.
- Hernández, H. (2012). *Diseño de un biodigestor instrumentado electrónicamente para generación de biogás en casa habitación*. Universidad Autónoma de México, Mexico.
- Hernández, P. (2010). *Diseño y construcción de planta piloto de biogás, comuna de Río Negro en la región de los Lagos*. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile.
- Hidalgo, J., Maravilla, A., & Ramírez, W.(Octubre de 2010). *Aprovechamiento energético del biogás en El Salvador*. Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Antiguo Acuscatlán, El Salvador.
- Huere, J. L., Alcántara, E. M., & Surichauqui, F.(2017). Producción de biogás en un prototipo de biodigestor a condiciones ambientales de Huancavelica. *QuintaEsencia*, 8. Obtenido de <http://quintaesencia.unh.edu.pe/index.php/VOL7-2-2014/index>
- INEI. (2012). Instituto Nacional de Estadística e Informática. *IV censo nacional agropecuario*. Perú.
- Imhoff, K. (1920). *Historia del tanque Imhoff*, Enscher, Alemania.
- Lazarte, J. A. (2016). *Implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y abono orgánico a partir del estiércol de ganado en la hacienda Los Olivos*.

- Universidad Alas Peruanas, Arequipa. Obtenido de [http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/3907?fbclid=IwAR3fLt\\_eJPpl\\_OJ7yP3x04P515q5TTRxsQuAjGo0vDWhcQBySyd-dnxKyOc](http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/3907?fbclid=IwAR3fLt_eJPpl_OJ7yP3x04P515q5TTRxsQuAjGo0vDWhcQBySyd-dnxKyOc)
- Luna, J. I. (2018). *Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo batch para excretas provenientes de ganado vacuno, camelido y equino de la Universidad Científica del Sur*. Universidad Científica del Sur, Lima.
- Lusk, P. (1998). *Methane recovery from animal manures the current opportunities casebook*. Resource Development Associates, Washington, USA.
- Martí, J. (2008). *Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para tropico, valle y altiplano*. La Paz, Bolivia: GTZ ProAgro. Obtenido de [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/10bib\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/10bib_arch.pdf)
- Monnet, F. (2003). *An introduction to anaerobic digestion of organic wastes*, Jordania.
- Murrillo, J. (2011). Hacer De la educacion un ambito basado en evidencias científicas. *Iberoamericana Sobre Calidad, eficacia y cambio en educación*, 9 (3), 5.
- Nachwachsende, F. (2010). *Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso*. Alemania: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbei.
- Noreña, J. M. (2018). *Evaluación del estiércol de cuy de la granja montero y aguas residuales del camal municipal de Huánuco para la producción de biol mediante biodigestores del tipo semi-continuo*. Universidad de Huánuco, Huánuco.
- Osorio, J. A., Ciro, H. J., & Gonzáles, H.(2007). *Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío*. Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. Obtenido de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24464?fbclid=IwAR22zMROwswwPJ6ZpG9-xplfyrEvyqDdjpkal0OhUZ\\_900QuZTERPWIDnck](https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24464?fbclid=IwAR22zMROwswwPJ6ZpG9-xplfyrEvyqDdjpkal0OhUZ_900QuZTERPWIDnck)
- Paucar, L., & Quispe, M. E. (2015). *Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la Granja de V.A.Velebit SAC ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

- Pautrat, J. A. (2010). *Diseño de biodigestor y producción de biogás con el excremento vacuno en la Granja Agropecuaria de Yauris*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Yauris, Huancayo.
- Perez, J. A. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeñas ganaderos y lecheros*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez\\_jm.pdf?sequence=3&fbclid=IwAR0I5eE8EaWG8Uz84BdyuJSDzWrWaY6Mp-TXhH3MfcyhZMRKYhkV0YnfAyE](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3&fbclid=IwAR0I5eE8EaWG8Uz84BdyuJSDzWrWaY6Mp-TXhH3MfcyhZMRKYhkV0YnfAyE)
- Pérez, J., & Merino, M. (2011). *Definición*. Obtenido de <https://definicion.de/acido/>
- Pinos, J. M., García, J. C., Peña, L. Y., Rendón, J. A., Gonzáles, C., & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *AgroCiencia*, 12. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n4/v46n4a4.pdf?fbclid=IwAR0QatMPEwSv6A\\_XpiEfMrPEVGeLZxAq4bsQT8U4Mr5dffMTpovaeKr1JB0](http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n4/v46n4a4.pdf?fbclid=IwAR0QatMPEwSv6A_XpiEfMrPEVGeLZxAq4bsQT8U4Mr5dffMTpovaeKr1JB0)
- ProExpansión. (2014, Octubre 17). Acceso a la electricidad. *Tres millones de peruanos no acceden a ella*, pág. 1. Obtenido de <https://proexpansion.com/es/articles/670-acceso-a-la-electricidad-tres-millones-de-peruanos-aun-no-acceden-a-ella?fbclid=IwAR1fTkGyMknNmkYbUcvr617e4ntJginboz4BvR0E88EOBgCyZgt6wEMB3Zk>
- PROSAP. (2009). Programa de servicio agrícolas provinciales. *Biodigestores y biogás en la actividad rural*. Lima, pág. 1.
- PUCP. (2012). Pontificia Universidad Católica del Perú. *Grupo de investigación carbón biomasa*. Obtenido de <http://investigación.pucp.edu.pe/grupo-investigación/grupo-carbon-biomasa-gicb/>
- Ramos, J. L. (2014). Producción de biogás a partir de biomasa de la micro alga *Scenedesmus sp.* Procedente de diferentes procesos. Universidad Politécnica De Madrid, España.
- Rojas, O. J., Mavila, D., & Lavado, M. A. (2016, Julio 23). *Diseño y construcción de un biodigestor tubular a base de excreta de alpaca a una altura de 4,200*

- m.s.n.m.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Masma, Junín. Obtenido de [http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Theo/article/view/12603?fbclid=IwAR1g-XsMI5L3vuJeFxavngHwCLiMO9ZMwKdE2HI9QH\\_oKrl3KS5LTBzSC8M](http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Theo/article/view/12603?fbclid=IwAR1g-XsMI5L3vuJeFxavngHwCLiMO9ZMwKdE2HI9QH_oKrl3KS5LTBzSC8M)
- Salazar, J. L., Amusquivar, C., Llave, J. J., & Rivasplata, C. (2012). Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, 1.
- Sistema Biobolsa. (2017). *Manual de biol.* Ciudad De Mexico.
- Suntásig, H. D. (2010). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales en la Finca de Autoconsumo Del IPVCFE.* Universidad Técnica de Cotopasi, Latacunga, Ecuador.
- Toala , E. E. (2013). *Diseño De un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Varela, G. (2012). Fisiología y metabolismo bacteriano. En G. Varela, *Fisiología y metabolismo bacteriano* (págs. 11-12).
- Varnero, M. (2011). *Manual de biogás.* Santiago De Chile: FAO.
- Vega , J. A. (2015). *Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semi continuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi.* Universidad Nacional del Santa , Chimbote. Obtenido de <https://docplayer.es/73909975-Universidad-nacional-del-santa.html?fbclid=IwAR1pH7Wl26NUk1oKu6D-TZI4Wj8MHQ-bpCHaJE-JN03113JdHimTFUA0SKM>
- Vera, I., Estrada, M., Martínez, J., & Ortiz, A. (2015). *Potencial de generació de biogás y energia eelectrica.* Mexico: Revista Ingeniería Investigación y Tecnología . Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470352X>
- Wang, C., Zang, Y., Zhang, L. & Pong, M. (2016). Alternative policies tho subsidize rural house hold biogás digesters. *energy policy*. Volumen 93, China.



**APÉNDICE**

**Apéndice 1:** Matriz de consistencia

**Tabla 24.**

Matriz de consistencia.

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variabes</b>	<b>Método</b>
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es la influencia de la temperatura en el tiempo de producción del biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> La temperatura si tiene una influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> ➤ Tiempo de producción de biogás.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada <b>Nivel de investigación:</b> Explicativo <b>Diseño de investigación:</b> Experimental. <b>Población:</b>  La excreta de bovino del corral de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande - Huancavelica.</p> <p><b>Muestra:</b>  22.5 kg de excretas de bovino y 22.5 L de agua para cada biodigestor</p>
<p><b>Problemas específicos:</b> 1. ¿Qué influencia tiene la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica? 2. Que influencia tiene la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> 1. Determinar la influencia que tiene la temperatura ambiental en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica. 2. Determinar la influencia que tiene la temperatura con acondicionamiento de cobertura en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica.</p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b> 1.La temperatura ambiental si tiene una influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica. 2.La temperatura con acondicionamiento de cobertura si tiene una influencia significativa en el tiempo de producción de biogás de excretas de bovino en el centro poblado de Callqui Grande - Huancavelica .</p>	<p><b>Variable independiente:</b> ➤ Temperatura.</p> <p><b>Dimensiones</b> ➤ Temperatura ambiental. ➤ Temperatura con acondicionamiento de cobertura.</p>	

## Apéndice 2: Tablas de resultados

### Apéndice 2.1: Registro de temperatura ambiental del biodigestor.

Tabla 25

Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de julio

FECHA	TEMPERATURA AMBIENTAL (MES JULIO)		
	Temperatura °C	Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)	Temperatura K
07/07/2019	16.1	17.1	290.25
08/07/2019	16.2	17.2	290.35
09/07/2019	16.9	17.9	291.05
10/07/2019	16.3	17.3	290.45
11/07/2019	16.6	17.6	290.75
12/07/2019	18	19	292.15
13/07/2019	17	18	291.15
14/07/2019	16	17	290.15
15/07/2019	15.9	16.9	290.05
16/07/2019	15	16	289.15
17/07/2019	12.6	13.6	286.75
18/07/2019	13.4	14.4	287.55
19/07/2019	15.5	16.5	289.65
20/07/2019	15.2	16.2	289.35
21/07/2019	17	18	291.15
22/07/2019	11.7	12.7	285.85
23/07/2019	15	16	289.15
24/07/2019	15	16	289.15
25/07/2019	16.5	17.5	290.65
26/07/2019	16.5	17.5	290.65
27/07/2019	15.5	16.5	289.65
28/07/2019	13	14	287.15
29/07/2019	14.5	15.5	288.65
30/07/2019	17	18	291.15
31/07/2019	17.1	18.1	291.25

**Tabla 26**

*Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de agosto*

<b>TEMPERATURA AMBIENTAL (MES AGOSTO)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)</b>	<b>Temperatura K</b>
01/08/2019	17.6	18.6	291.75
02/08/2019	18	19	292.15
03/08/2019	16	17	290.15
04/08/2019	15.6	16.6	289.75
05/08/2019	16.6	17.6	290.75
06/08/2019	17	18	291.15
07/08/2019	16.9	17.9	291.05
08/08/2019	15.6	16.6	289.75
09/08/2019	15	16	289.15
10/08/2019	15.3	16.3	289.45
11/08/2019	18	19	292.15
12/08/2019	18.2	19.2	292.35
13/08/2019	15.2	16.2	289.35
14/08/2019	15.3	16.3	289.45
15/08/2019	17	18	291.15
16/08/2019	17.6	18.6	291.75
17/08/2019	19.2	20.2	293.35
18/08/2019	18	19	292.15
19/08/2019	17.8	18.8	291.95
20/08/2019	17	18	291.15
21/08/2019	10.6	11.6	284.75
22/08/2019	15	16	289.15
23/08/2019	14.8	15.8	288.95
24/08/2019	15.2	16.2	289.35
25/08/2019	17	18	291.15
26/08/2019	15.5	16.5	289.65
27/08/2019	14.2	15.2	288.35
28/08/2019	16.7	17.7	290.85
29/08/2019	17	18	291.15
30/08/2019	17.2	18.2	291.35
31/08/2019	17	18	291.15

**Tabla 27***Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de setiembre*

FECHA	TEMPERATURA AMBIENTAL (MES SETIEMBRE)		
	Temperatura °C	Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)	Temperatura K
01/09/2019	16.9	17.9	291.05
02/09/2019	18.2	19.2	292.35
03/09/2019	15.1	16.1	289.25
04/09/2019	15.9	16.9	290.05
05/09/2019	13.2	14.2	287.35
06/09/2019	15.8	16.8	289.95
07/09/2019	14.2	15.2	288.35
08/09/2019	15.1	16.1	289.25
09/09/2019	15.9	16.9	290.05
10/09/2019	15.6	16.6	289.75
11/09/2019	13.8	14.8	287.95
12/09/2019	16.3	17.3	290.45
13/09/2019	15.2	16.2	289.35
14/09/2019	14.2	15.2	288.35
15/09/2019	18.2	19.2	292.35
16/09/2019	19.2	20.2	293.35
17/09/2019	17.2	18.2	291.35
18/09/2019	19.9	20.9	294.05
19/09/2019	16.2	17.2	290.35
20/09/2019	15.2	16.2	289.35
21/09/2019	10.2	11.2	284.35
22/09/2019	15.5	16.5	289.65
23/09/2019	16.6	17.6	290.75
24/09/2019	14.2	15.2	288.35
25/09/2019	15.2	16.2	289.35
26/09/2019	18.4	19.4	292.55
27/09/2019	18.1	19.1	292.25
28/09/2019	18.2	19.2	292.35
29/09/2019	18.9	19.9	293.05
30/09/2019	16.4	17.4	290.55

**Tabla 28***Resultado del registro de la temperatura ambiental del biodigestor en el mes de octubre*

<b>TEMPERATURA AMBIENTAL (MES OCTUBRE)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)</b>	<b>Temperatura K</b>
01/10/2019	19.9	20.9	294.05
02/10/2019	16.3	17.3	290.45
03/10/2019	15.9	16.9	290.05
04/10/2019	17.2	18.2	291.35
05/10/2019	16.2	17.2	290.35
06/10/2019	13.8	14.8	287.95
07/10/2019	15.6	16.6	289.75
08/10/2019	18.2	19.2	292.35
09/10/2019	19.9	20.9	294.05
10/10/2019	16.9	17.9	291.05
11/10/2019	17.3	18.3	291.45
12/10/2019	15.6	16.6	289.75
13/10/2019	14.2	15.2	288.35
14/10/2019	18.2	19.2	292.35
15/10/2019	16.6	17.6	290.75

**Apéndice 2.2:** Registro de temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.

**Tabla 29**

*Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de julio*

<b>TEMPERATURA CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA (MES JULIO)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)</b>	<b>Temperatura K</b>
07/07/2019	37.30	38.30	310.45
08/07/2019	37.50	38.50	310.65
09/07/2019	30.00	31.00	303.15
10/07/2019	37.60	38.60	310.75
11/07/2019	37.70	38.70	310.85
12/07/2019	40.90	41.90	314.05
13/07/2019	38.20	39.20	311.35
14/07/2019	37.00	38.00	310.15
15/07/2019	37.00	38.00	310.15
16/07/2019	36.20	37.20	309.35
17/07/2019	33.80	34.80	306.95
18/07/2019	34.80	35.80	307.95
19/07/2019	36.50	37.50	309.65
20/07/2019	36.40	37.40	309.55
21/07/2019	38.20	39.20	311.35
22/07/2019	30.50	31.50	303.65
23/07/2019	36.20	37.20	309.35
24/07/2019	36.20	37.20	309.35
25/07/2019	37.60	38.60	310.75
26/07/2019	37.60	38.60	310.75
27/07/2019	36.50	37.50	309.65
28/07/2019	34.30	35.30	307.45
29/07/2019	35.40	36.40	308.55
30/07/2019	38.20	39.20	311.35
31/07/2019	38.00	39.00	311.15

**Tabla 30**

*Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de agosto*

FECHA	TEMPERATURA CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA (MES AGOSTO)		
	Temperatura °C	Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)	Temperatura K
01/08/2019	38.60	39.60	312.75
02/08/2019	40.90	41.90	315.05
03/08/2019	37.00	38.00	311.15
04/08/2019	36.40	37.40	310.55
05/08/2019	37.70	38.70	311.85
06/08/2019	38.20	39.20	312.35
07/08/2019	37.90	38.90	312.05
08/08/2019	36.40	37.40	310.55
09/08/2019	34.80	35.80	308.95
10/08/2019	36.00	37.00	310.15
11/08/2019	40.90	41.90	315.05
12/08/2019	41.40	42.40	315.55
13/08/2019	35.80	36.80	309.95
14/08/2019	36.00	37.00	310.15
15/08/2019	38.20	39.20	312.35
16/08/2019	38.60	39.60	312.75
17/08/2019	44.00	45.00	318.15
18/08/2019	40.90	41.90	315.05
19/08/2019	38.80	39.80	312.95
20/08/2019	38.20	39.20	312.35
21/08/2019	29.90	30.90	304.05
22/08/2019	34.90	35.90	309.05
23/08/2019	31.80	32.80	305.95
24/08/2019	35.80	36.80	309.95
25/08/2019	38.20	39.20	312.35
26/08/2019	36.50	37.50	310.65
27/08/2019	35.00	36.00	309.15
28/08/2019	37.80	38.80	311.95
29/08/2019	38.20	39.20	312.35
30/08/2019	39.00	40.00	313.15
31/08/2019	38.20	39.20	312.35

**Tabla 31**

*Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de setiembre*

FECHA	TEMPERATURA CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA (MES SETIEMBRE)		
	Temperatura °C	Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)	Temperatura K
01/09/2019	38.00	39.00	312.15
02/09/2019	41.40	42.40	315.55
03/09/2019	36.20	37.20	310.35
04/09/2019	37.00	38.00	311.15
05/09/2019	34.50	35.50	308.65
06/09/2019	36.80	37.80	310.95
07/09/2019	35.00	36.00	309.15
08/09/2019	36.40	37.40	310.55
09/09/2019	37.00	38.00	311.15
10/09/2019	36.40	37.40	310.55
11/09/2019	34.90	35.90	309.05
12/09/2019	37.60	38.60	311.75
13/09/2019	36.40	37.40	310.55
14/09/2019	35.00	36.00	309.15
15/09/2019	41.40	42.40	315.55
16/09/2019	44.00	45.00	318.15
17/09/2019	38.20	39.20	312.35
18/09/2019	45.00	46.00	319.15
19/09/2019	37.50	38.50	311.65
20/09/2019	36.40	37.40	310.55
21/09/2019	29.00	30.00	303.15
22/09/2019	36.50	37.50	310.65
23/09/2019	37.70	38.70	311.85
24/09/2019	35.00	36.00	309.15
25/09/2019	36.40	37.40	310.55
26/09/2019	41.70	42.70	315.85
27/09/2019	41.20	42.20	315.35
28/09/2019	41.40	42.40	315.55
29/09/2019	43.60	44.60	317.75
30/09/2019	37.80	38.80	311.95

**Tabla 32**

*Resultado del registro de la temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de octubre*

<b>TEMPERATURA CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA (MES OCTUBRE)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Temperatura del biodigestor °C (Es igual a 1 °C más que la temperatura ambiental)</b>	<b>Temperatura K</b>
<b>01/10/2019</b>	35.00	36.00	309.15
<b>02/10/2019</b>	36.40	37.40	310.55
<b>03/10/2019</b>	38.20	39.20	312.35
<b>04/10/2019</b>	42.00	43.00	316.15
<b>05/10/2019</b>	36.50	37.50	310.65
<b>06/10/2019</b>	29.00	30.00	303.15
<b>07/10/2019</b>	32.00	33.00	306.15
<b>08/10/2019</b>	34.50	35.50	308.65
<b>09/10/2019</b>	37.00	38.00	311.15
<b>10/10/2019</b>	36.80	37.80	310.95
<b>11/10/2019</b>	31.00	32.00	305.15
<b>12/10/2019</b>	32.60	33.60	306.75
<b>13/10/2019</b>	34.00	35.00	308.15
<b>14/10/2019</b>	38.20	39.20	312.35
<b>15/10/2019</b>	41.40	42.40	315.55

**Apéndice 2.3:** Registro de la producción del volumen diario a temperatura ambiental del biodigestor.

**Tabla 33**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de julio*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL BIODIGESTOR (MES DE JULIO)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
07/07/2019	0	290.25	0.00	0.00	0.000
08/07/2019	0	290.35	0.00	0.00	0.000
09/07/2019	0	291.05	0.00	0.00	0.000
10/07/2019	0	290.45	0.00	0.00	0.000
11/07/2019	0	290.75	0.00	0.00	0.000
12/07/2019	0	292.15	0.00	0.00	0.000
13/07/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
14/07/2019	0	290.15	0.00	0.00	0.000
15/07/2019	0	290.05	0.00	0.00	0.000
16/07/2019	0	289.15	0.00	0.00	0.000
17/07/2019	0	286.75	0.00	0.00	0.000
18/07/2019	0	287.55	0.00	0.00	0.000
19/07/2019	0	289.65	0.00	0.00	0.000
20/07/2019	0	289.35	0.00	0.00	0.000
21/07/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
22/07/2019	0	285.85	0.00	0.00	0.000
23/07/2019	0	289.15	0.00	0.00	0.000
24/07/2019	0	289.15	0.00	0.00	0.000
25/07/2019	0	290.65	0.00	0.00	0.000
26/07/2019	0	290.65	0.00	0.00	0.000
27/07/2019	0	289.65	0.00	0.00	0.000
28/07/2019	0	287.15	0.00	0.00	0.000
29/07/2019	0	288.65	0.00	0.00	0.000
30/07/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
31/07/2019	0	291.25	0.00	0.00	0.000

**Tabla 34**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de agosto*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/08/2019	0	291.75	0.00	0.00	0.000
02/08/2019	0	292.15	0.00	0.00	0.000
03/08/2019	0	290.15	0.00	0.00	0.000
04/08/2019	0	289.75	0.00	0.00	0.000
05/08/2019	0	290.75	0.00	0.00	0.000
06/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
07/08/2019	0	291.05	0.00	0.00	0.000
08/08/2019	0	289.75	0.00	0.00	0.000
09/08/2019	0	289.15	0.00	0.00	0.000
10/08/2019	0	289.45	0.00	0.00	0.000
11/08/2019	0	292.15	0.00	0.00	0.000
12/08/2019	0	292.35	0.00	0.00	0.000
13/08/2019	0	289.35	0.00	0.00	0.000
14/08/2019	0	289.45	0.00	0.00	0.000
15/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
16/08/2019	0	291.75	0.00	0.00	0.000
17/08/2019	0	293.35	0.00	0.00	0.000
18/08/2019	0	292.15	0.00	0.00	0.000
19/08/2019	0	291.95	0.00	0.00	0.000
20/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
21/08/2019	0	284.75	0.00	0.00	0.000
22/08/2019	0	289.15	0.00	0.00	0.000
23/08/2019	0	288.95	0.00	0.00	0.000
24/08/2019	0	289.35	0.00	0.00	0.000
25/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
26/08/2019	0	289.65	0.00	0.00	0.000
27/08/2019	0	288.35	0.00	0.00	0.000
28/08/2019	0	290.85	0.00	0.00	0.000
29/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000
30/08/2019	0	291.35	0.00	0.00	0.000
31/08/2019	0	291.15	0.00	0.00	0.000

**Tabla 35**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de setiembre*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL BIODIGESTOR (MES DE SETIEMBRE)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/09/2019	0	291.05	0.00	0.00	0.000
02/08/2019	0	292.35	0.00	0.00	0.000
03/08/2019	0	289.25	0.00	0.00	0.000
04/08/2019	0	290.05	0.00	0.00	0.000
05/08/2019	0	287.35	0.00	0.00	0.000
06/08/2019	0	289.95	0.00	0.00	0.000
07/08/2019	0	288.35	0.00	0.00	0.000
08/08/2019	0	289.25	0.00	0.00	0.000
09/08/2019	0	290.05	0.00	0.00	0.000
10/08/2019	0	289.75	0.00	0.00	0.000
11/08/2019	0	287.95	0.00	0.00	0.000
12/08/2019	0	290.45	0.00	0.00	0.000
13/08/2019	0	289.35	0.00	0.00	0.000
14/08/2019	0	288.35	0.00	0.00	0.000
15/08/2019	0.0017	292.35	0.00	0.00	0.095
16/08/2019	0.002	293.35	0.00	0.00	0.112
17/08/2019	0.0027	291.35	0.01	0.01	0.152
18/08/2019	0.0037	294.05	0.01	0.01	0.206
19/08/2019	0.0048	290.35	0.01	0.01	0.271
20/08/2019	0.0037	289.35	0.01	0.01	0.210
21/08/2019	0.0041	284.35	0.01	0.01	0.236
22/08/2019	0.0048	289.65	0.01	0.01	0.272
23/08/2019	0.0054	290.75	0.01	0.01	0.304
24/08/2019	0.0061	288.35	0.02	0.02	0.347
25/08/2019	0.0041	289.35	0.01	0.01	0.232
26/08/2019	0.0048	292.55	0.01	0.01	0.269
27/08/2019	0.0054	292.25	0.01	0.01	0.303
28/08/2019	0.0061	292.35	0.02	0.02	0.342
29/08/2019	0.0068	293.05	0.02	0.02	0.380
30/08/2019	0.0048	290.55	0.01	0.01	0.271

**Tabla 36**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura ambiental del biodigestor en el mes de octubre*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS A TEMPERATURA AMBIENTAL DEL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/10/2019	0.0054	294.05	0.01	0.01	0.301
02/10/2019	0.0061	290.45	0.02	0.02	0.344
03/10/2019	0.0068	290.05	0.02	0.02	0.384
04/10/2019	0.0082	291.35	0.02	0.02	0.461
05/10/2019	0.0061	290.35	0.02	0.02	0.344
06/10/2019	0.0054	287.95	0.01	0.01	0.307
07/10/2019	0.0041	289.75	0.01	0.01	0.232
08/10/2019	0.0034	292.35	0.01	0.01	0.191
09/10/2019	0.0027	294.05	0.01	0.01	0.150
10/10/2019	0.0005	291.05	0.00	0.00	0.028
11/10/2019	0.0004	291.45	0.00	0.00	0.022
12/10/2019	0.0003	289.75	0.00	0.00	0.017
13/10/2019	0.0002	288.35	0.00	0.00	0.011
14/10/2019	0.0001	292.35	0.00	0.00	0.006
15/10/2019	0	290.75	0.00	0.00	0.000

**Apéndice 2.3:** Registro de la producción del volumen diario a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor.

**Tabla 37**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de julio*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA DEL BIODIGESTOR (MES DE JULIO)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
07/07/2019	0.0000	310.4500	0.0000	0.0000	0.0000
08/07/2019	0.0000	310.6500	0.0000	0.0000	0.0000
09/07/2019	0.0000	303.1500	0.0000	0.0000	0.0000
10/07/2019	0.0000	310.7500	0.0000	0.0000	0.0000
11/07/2019	0.0000	310.8500	0.0000	0.0000	0.0000
12/07/2019	0.0000	314.0500	0.0000	0.0000	0.0000
13/07/2019	0.0000	311.3500	0.0000	0.0000	0.0000
14/07/2019	0.0000	310.1500	0.0000	0.0000	0.0000
15/07/2019	0.0000	310.1500	0.0000	0.0000	0.0000
16/07/2019	0.0000	309.3500	0.0000	0.0000	0.0000
17/07/2019	0.0000	306.9500	0.0000	0.0000	0.0000
18/07/2019	0.0000	307.9500	0.0000	0.0000	0.0000
19/07/2019	0.0000	309.6500	0.0000	0.0000	0.0000
20/07/2019	0.0000	309.5500	0.0000	0.0000	0.0000
21/07/2019	0.0000	311.3500	0.0000	0.0000	0.0000
22/07/2019	0.0000	303.6500	0.0000	0.0000	0.0000
23/07/2019	0.0000	309.3500	0.0000	0.0000	0.0000
24/07/2019	0.0000	309.3500	0.0000	0.0000	0.0000
25/07/2019	0.0000	310.7500	0.0000	0.0000	0.0000
26/07/2019	0.0000	310.7500	0.0000	0.0000	0.0000
27/07/2019	0.0000	309.6500	0.0000	0.0000	0.0000
28/07/2019	0.0000	307.4500	0.0000	0.0000	0.0000
29/07/2019	0.0000	308.5500	0.0000	0.0000	0.0000
30/07/2019	0.0000	311.3500	0.0000	0.0000	0.0000
31/07/2019	0.0000	311.1500	0.0000	0.0000	0.0000

**Tabla 38**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de agosto*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA DEL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/08/2019	0.0000	312.7500	0.0000	0.0000	0.0000
02/08/2019	0.0000	315.0500	0.0000	0.0000	0.0000
03/08/2019	0.0000	311.1500	0.0000	0.0000	0.0000
04/08/2019	0.0000	310.5500	0.0000	0.0000	0.0000
05/08/2019	0.0000	311.8500	0.0000	0.0000	0.0000
06/08/2019	0.0000	312.3500	0.0000	0.0000	0.0000
07/08/2019	0.0000	312.0500	0.0000	0.0000	0.0000
08/08/2019	0.0000	310.5500	0.0000	0.0000	0.0000
09/08/2019	0.0000	308.9500	0.0000	0.0000	0.0000
10/08/2019	0.0000	310.1500	0.0000	0.0000	0.0000
11/08/2019	0.0000	315.0500	0.0000	0.0000	0.0000
12/08/2019	0.0000	315.5500	0.0000	0.0000	0.0000
13/08/2019	0.0000	309.9500	0.0000	0.0000	0.0000
14/08/2019	0.0000	310.1500	0.0000	0.0000	0.0000
15/08/2019	0.0000	312.3500	0.0000	0.0000	0.0000
16/08/2019	0.0000	312.7500	0.0000	0.0000	0.0000
17/08/2019	0.0000	318.1500	0.0000	0.0000	0.0000
18/08/2019	0.0000	315.0500	0.0000	0.0000	0.0000
19/08/2019	0.0000	312.9500	0.0000	0.0000	0.0000
20/08/2019	0.0000	312.3500	0.0000	0.0000	0.0000
21/08/2019	0.0000	304.0500	0.0000	0.0000	0.0000
22/08/2019	0.0000	309.0500	0.0000	0.0000	0.0000
23/08/2019	0.0000	305.9500	0.0000	0.0000	0.0000
24/08/2019	0.0000	309.9500	0.0000	0.0000	0.0000
25/08/2019	0.0000	312.3500	0.0000	0.0000	0.0000
26/08/2019	0.0000	310.6500	0.0000	0.0000	0.0000
27/08/2019	0.0000	309.1500	0.0000	0.0000	0.0000
28/08/2019	0.0000	311.9500	0.0000	0.0000	0.0000
29/08/2019	0.0000	312.3500	0.0000	0.0000	0.0000
30/08/2019	0.0000	313.1500	0.0000	0.0000	0.0000
31/08/2019	0.0014	312.3500	0.0033	0.0033	0.0735

**Tabla 39**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de setiembre*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA DEL BIODIGESTOR (MES DE SETIEMBRE)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/09/2019	0.0024	312.1500	0.0056	0.0056	0.1260
02/09/2019	0.0034	315.5500	0.0079	0.0079	0.1766
03/09/2019	0.0044	310.3500	0.0104	0.0104	0.2324
04/09/2019	0.0054	311.1500	0.0127	0.0127	0.2845
05/09/2019	0.0027	308.6500	0.0064	0.0064	0.1434
06/09/2019	0.0048	310.9500	0.0113	0.0113	0.2530
07/09/2019	0.0061	309.1500	0.0144	0.0144	0.3234
08/09/2019	0.0068	310.5500	0.0160	0.0160	0.3589
09/09/2019	0.0082	311.1500	0.0193	0.0193	0.4319
10/09/2019	0.0061	310.5500	0.0144	0.0144	0.3219
11/09/2019	0.0065	309.0500	0.0154	0.0154	0.3447
12/09/2019	0.0068	311.7500	0.0160	0.0160	0.3575
13/09/2019	0.0082	310.5500	0.0193	0.0193	0.4328
14/09/2019	0.0102	309.1500	0.0241	0.0241	0.5408
15/09/2019	0.0065	315.5500	0.0151	0.0151	0.3376
16/09/2019	0.0068	318.1500	0.0156	0.0156	0.3503
17/09/2019	0.0082	312.3500	0.0192	0.0192	0.4303
18/09/2019	0.0095	319.1500	0.0218	0.0218	0.4879
19/09/2019	0.0109	311.6500	0.0256	0.0256	0.5733
20/09/2019	0.0068	310.5500	0.0160	0.0160	0.3589
21/09/2019	0.0082	303.1500	0.0198	0.0198	0.4433
22/09/2019	0.0095	310.6500	0.0224	0.0224	0.5012
23/09/2019	0.0102	311.8500	0.0239	0.0239	0.5361
24/09/2019	0.0109	309.1500	0.0258	0.0258	0.5779
25/09/2019	0.0088	310.5500	0.0207	0.0207	0.4644
26/09/2019	0.0095	315.8500	0.0220	0.0220	0.4930
27/09/2019	0.0109	315.3500	0.0253	0.0253	0.5665
28/09/2019	0.0116	315.5500	0.0269	0.0269	0.6025
29/09/2019	0.0122	317.7500	0.0281	0.0281	0.6293
30/09/2019	0.0109	311.9500	0.0256	0.0256	0.5727

**Tabla 40**

*Resultado del registro del volumen de biogás a temperatura con acondicionamiento de cobertura del biodigestor en el mes de octubre*

<b>VOLUMEN DEL BIOGÁS CON ACONDICIONAMIENTO DE COBERTURA DEL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>Presión (atm)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Número de moles (mol)</b>	<b>n/día</b>	<b>V biogás (L gas/día)</b>
01/10/2019	0.0102	309.1500	0.0241	0.0241	0.5408
02/10/2019	0.0088	310.5500	0.0207	0.0207	0.4644
03/10/2019	0.0082	312.3500	0.0192	0.0192	0.4303
04/10/2019	0.0068	316.1500	0.0157	0.0157	0.3525
05/10/2019	0.0061	310.6500	0.0144	0.0144	0.3218
06/10/2019	0.0054	303.1500	0.0130	0.0130	0.2920
07/10/2019	0.0048	306.1500	0.0115	0.0115	0.2570
08/10/2019	0.0041	308.6500	0.0097	0.0097	0.2177
09/10/2019	0.0034	311.1500	0.0080	0.0080	0.1791
10/10/2019	0.0027	310.9500	0.0064	0.0064	0.1423
11/10/2019	0.0020	305.1500	0.0048	0.0048	0.1074
12/10/2019	0.0014	306.7500	0.0033	0.0033	0.0748
13/10/2019	0.0007	308.1500	0.0017	0.0017	0.0372
14/10/2019	0.0006	312.3500	0.0014	0.0014	0.0315
15/10/2019	0.0000	315.5500	0.0000	0.0000	0.0000

### Apéndice 3: Panel fotográfico

**Apéndice 3.1:** Focos de contaminación por la producción de estiércol de bovino en la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.



*Fotografía 1. Contaminación por aguas residuales del corral de la Estación Experimental Agraria Callqui Grande.*



*Fotografía 2. Contaminación por estiércol seco de bovino.*

**Apéndice 3.2:** Recolección de la muestra de estiércol en el corral.



*Fotografía 3. Recolección de la muestra de 10 bovinos durante 10 días.*



*Fotografía 4. Recolección y etiquetado de la muestra.*



*Fotografía 5. Orden y pesado de las muestras.*

**Apéndice 3.3:** Construcción e instalación de la paleta.



*Fotografía 6. La paleta fue soldada a un tubo, para luego colocarlo en los rodajes así pueda girar dentro del prototipo.*



*Fotografía 7. Se realizó 4 agujeros en la tapa del biodigestor para colocar la paleta ya unida con la manija.*



*Fotografía 8. Presentación de la paleta ya construida.*

### Apéndice 3.4: Instalación de los accesorios en el reactor



*Fotografía 9. Colocación del adaptador con pegamento en la tapa del prototipo.*



*Fotografía 10. Todas las uniones de los accesorios fueron hermetizadas con teflón y pegamento, evitando fugas durante todo el proceso de recolección de datos.*



*Fotografía 11. Presentación de los dos biodigestores con todos los accesorios.*

**Apéndice 3.5: Instalación para el efluente del biogás y biol.**



*Fotografía 12. Se realizó un agujero en el prototipo, para la colocación de la llave de paso para la obtención de biol.*



*Fotografía 13. Presentación del prototipo con la llave para la salida de biol y la colocación de la bolsa para el almacenamiento de biogás.*



*Fotografía 14. La colocación de la bolsa de almacenamiento se hizo con teflón y pegamento, evitando fugas de biogás durante todo el proceso de recolección de datos.*

**Apéndice 3.6:** Construcción de la estructura para el acondicionamiento de la temperatura



*Fotografía 15. Se cortó los cuarterones para la construcción de la estructura para el acondicionamiento de temperatura.*



*Fotografía 16. Las uniones de la estructura se realizaron con clavos de 2 pulgadas, siendo esta firme y consistente.*



*Fotografía 17. Presentación de la estructura para el acondicionamiento de temperatura.*

**Apéndice 3.7:** Colocación del forro de plástico agro film en la estructura para el acondicionamiento de la temperatura



*Fotografía 18.* Se realizó el forrado de la estructura con plástico agrofilm de 6 m de largo y 1.5 m de ancho.



*Fotografía 19.* Presentación de la estructura completamente forrado, que fue realizado con chinchos – clavos.



*Fotografía 20.* Se realizó el reforzamiento del forro luego que la temperatura no era constante ni adecuada para la producción de biogás.

**Apéndice 3.8:** Construcción del cerco perímtero y colocación de la cama de Ichu para el acondicionamiento de la temperatura



*Fotografía 21. Se realizó 4 agujeros para la colocación de cuartones, para el cerco perimétrico de los 2 biodigestores.*



*Fotografía 22. Presentación de los cuartones para el cerco perimétrico y la instalación de la cama de Ichu para el biodigestor con acondicionamiento de temperatura.*



*Fotografía 23. Presentación de la cama de Ichu y cobertura alrededor del biodigestor, así mantuvo una temperatura interna adecuada para la producción de biogás.*

**Apéndice 3.9:** Preparación del sustrato a base de agua y estiércol de bovino para el arranque del biodigestor.



**Fotografía 24.** Se colocó 22.5 L de agua y se pesó 22.5 kg de excretas bovino para la preparación del sustrato.



**Fotografía 25.** Se colocó 22.5 kg de excretas de bovino y se procedió al mezclado del sustrato dentro del biodigestor, contando con una mezcla homogénea.



**Fotografía 26.** Presentación se los biodigestores ya instalados a temperatura ambiental y a temperatura acondicionada.

**Apéndice 3.10: Medición del pH y temperatura dentro del biodigestor**



*Fotografía 27. Calibración del pH metro para proceder a medir el sustrato dentro del biodigestor.*



*Fotografía 28. Medición del pH dentro del biodigestor para ya poner en funcionamiento y realizar la recolección de datos*

**Apéndice 3.11: Proyecto instalado y en ejecución.**



*Fotografía 29. Proyecto ya instalado para la producción de biogás en la Estación Experimental Callqui Grande.*



*Fotografía 30. Presentación del cartel del proyecto en ejecución en la Estación Experimental Callqui Grande.*

**Apéndice 3.11: Recolección de datos**



*Fotografía 31. Recolección de datos de presión y temperatura a condiciones ambientales.*



*Fotografía 32. Recolección de datos de presión y temperatura en la estructura con acondicionamiento.*



*Fotografía 33. Estación meteorológica SENAMHI – Huancavelica - Callqui Grande.*









Apéndice 5.3: Planilla climatológica del SENAMHI – mes de setiembre de 2019.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
PLANILLA CLIMATOLÓGICA

CONDICIÓN  
C.O.

LATITUD: 12° 11'  
LONGITUD: 75° 00'  
ALTITUD: 3,701

DEPARTAMENTO: HUANUCO  
PROVINCIA: HUANUCO  
DISTRITO: HUANUCO

MESES: SETIEMBRE  
AÑO: 2019

1				2												3				4			5										6		7					
ESTACIÓN ATMOSFÉRICA (del de la estación (mb))				TEMPERATURA DEL AIRE (°C)												HUMEDAD DEL AIRE				PRECIPITACIÓN (mm)			EVAPORACIÓN EN mm										HILICOFANÍA		PLUVIÓMETRO					
				TERMOMETRO SECO						TERMOMETRO HUMEDO						HUMEDAD RELATIVA (%)							PICHÉ			TANQUE														
				EXTREMOS		Media Aritmética		07		13		19		Media Aritmética		07		13		19		Media Aritmética		07			19			TOTAL										
13	19	Media Aritmética		Máxima	Mínima	Media Aritmética	07	13	19	Media Aritmética	07	13	19	Media Aritmética	07	13	19	Media Aritmética	07	19	Total	07	19	Total	07	19	Total	Micromet	Asnomet line	Pluviómet line	Temp. Agua %	Micromet	Asnomet line	Pluviómet line	Temp. Agua %	Micromet	Asnomet line	Pluviómet line	%	caligrafía
				18.4	0.6	9.2	2.1	16.9	11.8	10.5	1.0	14.8	9.1	8.5	52.1	30.0	76.1	79.6			0.0	0.0						1.12	2.41	0.0	4.22	7.15	0.0	5.32	9.56	0.0	4.2			
				14.1	0.8	10.5	2.1	18.2	12.8	11.2	1.2	16.7	10.9	9.6	76.3	36.1	79.5	80.6	0.0	0.0	0.0							1.47	3.46	0.0	3.48	2.59	0.0	4.30	4.62	0.0	1.6			
				16.2	1.0	8.6	2.8	15.1	10.8	9.6	1.4	13.6	9.2	8.1	71.9	34.8	81.5	81.4	0.0	0.0	0.0							1.12	2.03	0.0	2.64	4.11	0.0	3.88	6.50	0.0	4.8			
				12.7	4.6	11.2	6.8	15.9	10.6	11.1	5.0	13.8	8.4	9.2	76.0	79.4	80.2	78.6	0.0	0.0	0.0							1.24	2.62	0.0	2.12	2.01	0.0	3.29	4.59	0.0	0.9			
				14.4	5.0	9.2	6.5	13.2	9.8	9.8	5.6	11.8	8.2	8.5	81.1	85.0	80.8	84.5	0.0	0.0	0.0							1.11	2.52	0.0	3.41	2.53	1.1	4.58	5.05	1.8	5.9			
				17.1	4.8	11.0	5.2	15.8	10.6	10.7	5.0	13.6	8.4	9.2	80.1	78.4	80.2	82.9	0.0	1.1	1.8							1.11	2.52	0.0	2.23	1.64	2.1	3.15	4.58	3.9	4.0			
				15.6	5.0	10.5	6.0	14.2	9.8	10.0	5.2	12.8	8.2	8.7	85.8	82.4	80.8	85.0	0.0	2.1	3.9							0.42	2.44	1.8	2.12	2.82	3.5	3.36	6.20	3.5	6.5			
				16.6	2.8	9.7	4.1	15.1	11.2	10.1	3.0	13.4	9.8	8.7	83.5	82.8	84.0	83.4	1.8	3.5	3.5							1.24	2.44	0.0	2.12	2.66	0.0	3.82	5.79	0.0	8.7			
				17.1	1.0	9.4	2.8	15.9	11.8	10.2	2.0	13.6	9.4	8.5	81.3	77.6	78.8	81.2	0.0	0.0	0.0							1.10	3.13	0.0	3.08	1.91	0.0	4.30	4.10	0.0	6.3			
				17.1	2.0	9.6	3.6	15.6	11.1	10.1	2.4	13.5	9.4	8.6	81.7	79.3	78.8	82.4	0.0	0.0	0.0							1.10	3.13	0.0	3.08	1.91	0.0	4.30	4.10	0.0	6.3			
				13.0	26.0	25.5	4.2	15.5	10.3	10.1	3.1	12.2	9.5	9.7	87.5	81.5	80.7	87.2	2.5	6.7	9.8							11.07	2.50	2.5	2.94	2.65	6.7	41.0	50.1	2.2	5.2			
				14.3	2.2	8.5	3.8	13.8	9.8	9.1	3.0	11.9	8.2	7.1	87.8	80.1	80.8	82.9	0.0	0.0	0.0							1.22	2.19	0.0	2.05	2.04	0.0	3.20	5.23	0.0	1.1			
				11.5	5.4	11.9	6.8	16.3	11.8	11.6	6.2	14.6	9.4	10.8	91.9	83.4	78.8	84.7	0.0	0.8	2.9							1.15	3.14	0.0	2.68	2.99	0.8	3.90	6.10	2.8	3.1			
				16.7	4.8	10.8	5.6	15.2	10.8	10.5	5.3	13.6	8.9	9.2	84.3	83.9	81.4	85.4	0.0	0.0	0.0							1.22	3.21	2.1	2.12	2.80	0.8	3.82	6.28	0.8	4.7			
				15.9	5.6	10.8	7.4	14.2	10.8	10.5	6.6	12.6	8.9	9.4	87.4	83.4	78.1	83.6	0.0	0.0	0.0							1.10	3.48	0.0	2.18	4.24	0.0	3.30	2.54	0.0	4.0			
				19.4	4.8	12.1	6.6	18.2	12.4	12.4	5.2	16.8	10.8	10.9	81.1	82.0	82.4	82.5	0.0	0.0	0.0							1.12	3.30	0.0	3.93	4.90	0.0	6.06	8.28	0.0	2.6			
				20.3	3.9	12.1	5.8	19.2	13.6	12.9	5.0	11.6	11.9	11.5	88.8	85.5	82.1	85.5	0.0	0.0	0.0							2.13	3.38	0.0	4.82	5.30	0.0	5.84	4.08	0.0	4.0			
				18.7	1.0	9.9	3.3	11.2	12.4	11.0	2.2	15.6	10.8	9.5	83.0	84.8	82.4	83.4	0.0	0.0	0.0							1.02	3.18	0.0	3.36	4.06	0.0	4.98	8.04	0.0	7.1			
				21.1	2.2	12.0	5.2	14.9	13.2	12.5	3.9	11.6	11.8	11.1	81.4	82.8	85.0	82.1	0.0	0.0	0.0							1.12	3.98	0.0	4.14	4.18	0.0	5.30	9.15	0.0	9.6			
				18.5	3.6	11.1	5.4	16.2	11.8	11.1	4.3	14.2	9.6	9.3	85.0	80.5	75.6	79.7	0.0	0.0	1.6							1.16	4.32	0.0	3.52	5.73	0.0	5.18	9.61	1.6	5.6			
				16.1	4.8	10.5	6.4	15.2	10.6	10.7	5.2	13.8	8.9	9.3	83.6	85.8	80.2	83.2	1.6	0.0	0.0							1.66	3.88	1.6	2.12	1.88	0.0	3.24	3.84	0.0	1.3			
				19.1	3.2	10.8	5.6	16.5	11.2	11.0	4.6	14.2	9.7	9.2	82.2	82.1	80.7	82.1	3.7	1.6	5.8							12.28	3.92	3.2	31.42	2.52	1.6	44.22	3.25	5.5	5.1			
				11.6	5.0	8.3	6.2	10.2	7.2	7.9	5.4	8.8	6.6	6.9	85.9	83.4	82.0	88.1	0.0	4.8	4.8							1.12	1.96	0.0	2.36	1.80	4.8	3.58	3.76	4.8	0.0			
				16.1	3.0	9.6	4.5	15.5	11.4	10.5	3.6	13.6	9.9	9.0	86.7	81.1	83.0	83.6	0.0	5.6	5.6							1.22	1.96	0.0	2.02	2.98	5.6	3.58	5.16	5.6	3.1			
				11.9	0.8	9.4	2.2	16.6	11.2	10.0	1.0	14.2	9.9	8.4	80.5	77.1	85.1	80.9	0.0	0.0	0.0							1.58	2.18	0.0	2.12	3.08	0.0	3.26	5.67	0.0	6.7			
				15.9	3.6	9.8	4.8	14.2	10.4	9.8	4.0	12.6	8.8	8.9	87.3	83.4	81.2	84.3	0.0	0.0	0.0							1.14	2.59	0.0	2.18	3.61	0.0	3.14	3.03	0.5	5.0			
				16.7	5.4	11.1	6.6	15.2	10.8	10.9	6.0	13.6	8.6	9.4	91.8	83.9	74.8	83.5	0.5	0.0	0.0							1.56	3.42	0.5	2.12	3.98	0.0	3.86	6.96	0.0	3.2			
				20.2	3.3	11.8	6.6	18.4	12.9	12.5	5.9	16.6	10.8	10.9	83.8	83.5	82.4	83.2	0.0	0.0	0.0							1.14	2.98	0.0	4.28	4.32	0.0	5.54	8.98	0.0	6.8			
				14.4	2.2	10.8	6.2	18.1	12.5	12.3	5.0	16.6	10.8	10.8	83.5	86.0	80.4	82.3	0.0	0.0	0.5							1.16	4.66	0.0	4.42	3.94	0.0	5.45	8.20	0.5	8.9			
				14.9	4.2	12.1	4.6	18.2	12.6	11.8	5.0	16.2	10.9	10.1	76.7	84.3	81.5	80.8	0.5	0.0	0.0							1.32	4.26	0.5	4.39	4.05	0.0	6.09	8.10	0.0	9.1			
				20.6	2.6	11.6	4.8	18.9	11.8	11.5	3.2	16.5	9.9	9.5	76.9	80.0	85.8	75.2	0.0	0.0	0.0							1.10	4.05	0.0	4.46	5.45	0.0	5.21	9.26	0.0	6.5			
				18.5	4.9	11.7	7.2	16.4	11.8	11.8	6.0	15.0	9.4	10.3	81.1	86.3	78.8	83.1	0.0	0.0	3.8							1.11	3.33	0.0	3.68	5.11	0.0	5.02	10.05	3.7	6.6			
				19.8	35.0	10.59	5.4	14.7	11.1	10.2	2.6	13.0	9.6	9.9	81.2	81.9	81.0	82.1	1.0	10.4	15.1							12.64	2.93	1.0	51.4	3.32	10.4	45.37	2.21	15.1	5.7			
				13.2	7.2	8.3	15.3	13.0	13.8	12.5	12.1	17.8	9.0	8.3	85.2	80.2	81.0	83.8	3.2	18.7	25.6							3.60	2.52	2.2	112.2	11.31	18.7	131.8	10.23	38.6	5.3			
				14.8	3.3	10.9	5.7	16.1	11.3	10.8	4.0	15.3	9.6	8.3	84.2	82.1	81.0	82.7	0.2	0.6	0.9							1.2	2.91	0.2	3.7	3.71	0.6	4.4	6.92	0.9	7.5			
																													1.34	4.88	3.7									