

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna”**

**PARA OPTAR:**

**TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Mirella Alexandra Loaiza Chuquimia.

Bach. Fernando Hugo Alarcón Collao

TACNA – PERÚ

2020

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**Tesis**

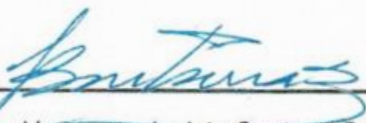
**“Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol  
(ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la  
zona de Sama Inclán, Tacna”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de noviembre de 2020; estando el jurado calificador integrado por:

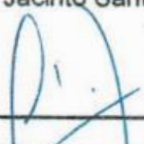
**PRESIDENTE:**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. César Huanacuni Lupaca


**SECRETARIO:**

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Humberto Jacinto Santana Soto.

**VOCAL:**

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Jose Oswaldo Cazorla Galdos.

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
Biol. Claudia Vanessa Clavijo Koc.

### DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Fernando Hugo Alarcón Collao y Mirella Alexandra Loaiza Chuquimia, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado(a) con DNI 70166233 y 71690594.

**Declaro bajo juramento que:**

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:

**“Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna”**

la misma que presento para optar el:

**Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

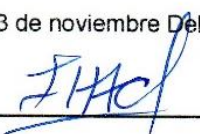
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 23 de noviembre Del 2020



Bach. Fernando Hugo Alarcón Collao  
DNI 70166233



Bach. Mirella Alexandra Loaiza Chuquimia  
DNI 71690594

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres y en especial a mi tía Lula, quien siempre me ha apoyado de manera incondicional para poder lograr mis metas, y quien me ha forjado para poder ser la persona que actualmente soy.

**Fernando Hugo Alarcón Collao**

A mis padres, quienes han sido la base de mi formación, y me han brindado su amor, apoyo y comprensión. Y a mi familia en general, que me ha inculcado los valores y principios que debo tener como persona.

**Mirella Alexandra Loaiza Chuquimia**

## **AGRADECIMIENTO**

En primera agradecer a Dios por permitirnos tener y disfrutar de nuestras familias, por fortalecer nuestro corazón e iluminarnos la mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo este periodo de estudio.

Agradecer a nuestras familias por apoyarnos en cada paso que damos y porque cada día nos demuestran lo hermosa que es la vida, agradecerles porque sin ellos el desarrollo de esta tesis no sería posible y por ayudarnos a cumplir esta meta.

A nuestra asesora, por guiarnos y ayudarnos a culminar esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos aportaron de conocimiento de forma directa e indirectamente para poder lograr nuestra investigación, y nos impulsaron a generar energías limpias.

A todos los que nos brindaron su afecto y apoyo.

## CONTENIDO

PÁGINA DE JURADOS .....	I
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	II
DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
INTRODUCCION .....	10
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
1.1.    DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	11
1.2.    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2.1.    Formulación del problema general.....	12
1.2.2.    Formulación del problema específicos .....	12
1.3.    JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	12
1.4.    OBJETIVOS .....	13
1.4.1.    Objetivo general.....	13
1.4.2.    Objetivos específicos.....	13
1.5.    HIPÓTESIS .....	13
1.5.1.    Hipótesis general .....	13
1.5.2.    Hipótesis específicas .....	14
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1.    ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	15
2.1.1.    Antecedentes internacionales .....	15
2.1.2.    Antecedentes nacionales .....	17
2.1.3.    Antecedentes locales .....	19
2.2.    BASES TEÓRICAS .....	19
2.1.1.    La biomasa como producto de energía.....	19
2.1.2.    Procesos de Biodigestión .....	20
2.1.3.    Biodigestores .....	21
2.1.4.    Productos finales de la digestión anaerobia .....	23
2.1.5.    Producción del biogás .....	24
2.1.6.    Ventajas y beneficios en la producción de biogás .....	27
2.1.7.    Producción de biogás y beneficios ambientales .....	28
2.1.8.    Factores determinantes en la producción de biogás .....	30

2.1.9.	Residuos Ganaderos.....	31
2.1.10.	Coste de generación eléctrica de diversas fuentes renovables .....	33
2.2.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	35
2.2.1.	Bioabono .....	35
2.2.2.	Biogás .....	35
2.2.3.	Biodigestor .....	35
2.2.4.	Biomasa.....	35
2.2.5.	Efluente estabilizado.....	35
2.2.6.	Estiércol.....	35
2.2.7.	Pecuario .....	35
2.2.8.	Purines .....	36
2.2.9.	Tiempo .....	36
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		37
3.1.	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.2.	POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO .....	37
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	37
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	38
3.4.1.	Técnicas para la recolección de datos.....	39
3.4.2.	Instrumento para la recolección de datos .....	48
3.5.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	49
3.6.	COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		50
4.1.	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE BIDONES DE 20 L.....	50
4.2.	TIEMPO DE INICIO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS .....	50
4.3.	CANTIDAD DE BIOGÁS PRODUCIDO .....	51
4.4.	CALIDAD DE BIOGÁS .....	52
4.5.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	54
4.6.	PROPUESTA DE DISEÑO DE BIODIGESTOR .....	63
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....		66
CONCLUSIONES .....		69
RECOMENDACIONES .....		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		72
ANEXOS .....		79
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....		118

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores a considerar para la planificación de un biodigestor .....	22
Tabla 2 Características particulares del biogás .....	23
Tabla 3 Componentes del biogás y su efecto en las propiedades .....	24
Tabla 4 Coloración de llama en relación al aire en la combustión de Gas natural. ....	25
Tabla 5 Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero .....	29
Tabla 6 Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos animales .....	31
Tabla 7 Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de residuos animales.....	31
Tabla 8 Sistema de alimentación del ganado .....	32
Tabla 9 Características químicas de excretas de ovinos .....	32
Tabla 10 Características químicas de excretas de vacunos .....	33
Tabla 11 Comparación de costos de generación de energía de diferentes tecnologías renovables.....	34
Tabla 12 Composición de las muestras a evaluar en litros .....	37
Tabla 13 Operacionalización de variables .....	37
Tabla 14 Composición de las muestras a evaluar en bidones de 20 L en kilogramos y litros.....	40
Tabla 15 Porcentaje de llenado y relación C/N de los biodigestores de 20 litros .....	41
Tabla 16 Porcentaje de llenado de los biodigestores de 50 L.....	43
Tabla 17 Valores máximos y mínimos de cada tipo de estiércol.....	43
Tabla 18 Concentraciones de los experimentos a evaluar en porcentaje con respecto a 8.5 L.....	44
Tabla 19 Densidad de los componente en kg/L.....	44
Tabla 20 Conversión de componente de litros a kilogramos.....	44
Tabla 21 Porcentaje correspondiente a cada componente .....	45
Tabla 22 División de cada componente entre 100 .....	45
Tabla 23 Relación Carbono/Nitrógeno de las mezclas .....	46
Tabla 24 Cuantificación de valores según colorimetría de la llama.....	47
Tabla 25 Costos de la investigación .....	49
Tabla 26 Cuadro resumen de los costos de investigación .....	49
Tabla 27 Tiempo de inicio de producción del biogás por biodigestor .....	50



Tabla 28: Producción total de biogás por biodigestor .....	51
Tabla 29 Calidad del biogás por biodigestor por calificación colorimétrica...	53
Tabla 30 Resumen estadístico para tiempo de inicio de producción.....	55
Tabla 31 Optimización del tiempo de inicio de producción del biogás .....	57
Tabla 32 Efectos estimados del modelo completo para el tiempo de inicio de producción de biogás .....	57
Tabla 33 Resultados del modelo completo para el tiempo de inicio de producción de biogás .....	57
Tabla 34 Resumen estadístico para cantidad de producción de biogás .....	58
Tabla 35 Optimización de la cantidad de biogás producido .....	59
Tabla 36 Efectos estimados del modelo completo para cantidad de biogás producido .....	60
Tabla 37 Resultados del modelo completo para la cantidad de biogás producido .....	60
Tabla 38 Resumen estadístico para la calidad de biogás producido.....	60
Tabla 39 Optimización de la calidad del biogás producido .....	62
Tabla 40 Efectos estimados del modelo completo para la calidad de biogás producido .....	62
Tabla 41 Resultados del modelo completo para la calidad de biogás producido .....	63
Tabla 42 Lista de materiales para implementar el biodigestor y sus precios	65
Tabla 43 Matriz de consistencia .....	118

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cantidad total de gas producido por kilogramo de materia, para diferentes temperaturas.....	26
Figura 2: Prueba de probeta invertida .....	27
Figura 3: Costo nivelado de las nuevas tecnologías de generación eléctrica por MWh.....	34
Figura 4: Mapa de macro localización de donde se realizó la investigación	38
Figura 5: Mapa de micro localización de donde se realizó la investigación..	38
Figura 6: Diseño del biodigestor .....	42
Figura 7: Diagrama de la metodología implementada.....	48
Figura 8: Tiempo de inicio de producción por biodigestor.....	50
Figura 9: Tiempo de inicio de producción de biogás y concentraciones de componentes del biodigestor.....	51

<i>Figura 10:</i> Cantidad de biogás producido por biodigestor .....	52
Figura 11: Cantidad de biogás producido y concentraciones de componentes del biodigestor .....	52
Figura 12: Calidad de biogás producida por biodigestor .....	53
Figura 13: Calidad del biogás y concentraciones de componentes del biodigestor.....	54
Figura 14: Contorno de la superficie respuesta estimada para el tiempo de inicio de producción de biogás .....	56
Figura 15: Gráfica de trazas para el tiempo de inicio de producción de biogás .....	56
Figura 16: Contorno de la superficie respuesta estimada para cantidad de biogás producido .....	58
Figura 17: Gráfica de traza para la cantidad de biogás producido .....	59
Figura 18: Contorno de la superficie respuesta estimada para la calidad de biogás producido .....	61
Figura 19: Gráfica de trazas para la calidad de biogás producido .....	61
Figura 20: Propuesta de diseño de biodigestor para abastecer a una familia en la zona ganadera de Sama Inclán .....	64

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la zona ganadera de Sama Inclán, ubicada en el distrito de Inclán, la provincia de Tacna, departamento de Tacna, con la finalidad de producir biogás utilizando estiércol de ganado ovino, equino y vacuno en sustrato de silo de maíz para la producción de biogás.

Se elaboraron 27 biodigestores de 20 litros, con concentraciones variadas de cada tipo de estiércol y silo de maíz, y con una relación 1:4 con respecto al agua, para evaluar el efecto de los diferentes tipos de estiércol para la producción de biogás, pero no hubo evidencia de producción de biogás, ya que previamente no se realizó un análisis para determinar si cumplía con la relación C/N adecuada; al igual que verificar el cumplimiento de la condición anaerobia del biodigestor, no habiendo diferencia significativa de las muestras.

Para poder optimizar se elaboraron nueve biodigestores, verificando previamente que cumplan con las condiciones adecuadas, cada uno de estos biodigestores tuvieron concentraciones diferentes de estiércol en porcentaje para llegar a 8.5 litros, con silo de maíz de 0.5 litros, y 36 litros de agua para cumplir la relación 1:4 con respecto al agua. Para su evaluación se estimó el tiempo de inicio de producción, la cantidad producida y la calidad del biogás, con la finalidad de conocer las mezclas óptimas, teniendo como resultado que la mezcla óptima para minimizar el tiempo de inicio de producción de biogás es de 6.5 % de estiércol equino, 37.5 % de estiércol ovino y 56 % de estiércol vacuno; para maximizar la cantidad de biogás la mezcla óptima es de estiércol equino (6.5%), estiércol ovino (39.7 %) y estiércol vacuno (53.8 %); y para optimizar la calidad de biogás la mezcla es de estiércol equino (6.5 %), de estiércol ovino (42 %) y estiércol vacuno (51.5 %). Se concluye que es posible la producción de biogás con estiércol de ganado equino, ovino y vacuno con silo de maíz en la zona de Sama Inclán.

Palabras claves: Producción de biogás, estiércol (ovino, equino, vacuno), sustrato de silo de maíz, Tiempo de inicio de producción, cantidad de producción, calidad de biogás.

## ABSTRACT

This research work was carried out in the livestock area of Sama Inclán, located in the district of Inclán, province of Tacna, department of Tacna, with the purpose of producing biogas using manure from sheep, horses and cattle in corn silage substrate for biogas production.

Twenty-seven 20-liter biodigesters were made, with varying concentrations of each type of manure and corn silo, and with a 1: 4 ratios with respect to water, when evaluated, the production was zero, since the design that was being used did not It was the appropriate one, and that an analysis was not previously carried out to determine if it complied with not exceeding the C / N; as well as verifying compliance with the anaerobic condition of the biodigester.

Therefore, it was decided to develop nine biodigesters, previously verifying that they meet the appropriate conditions, each of these biodigesters had different concentrations of manure in percentage to reach 8.5 liters, with a 0.5-liter corn silo, and 36 liters of water for meet the 1: 4 ratios with respect to water. For its evaluation, the production start time, the quantity produced and the quality of the biogas were estimated, in order to know the optimal mixtures, having as a result that the optimal mix to minimize the biogas production start time is 6.5 % of equine manure, 37.5% of sheep manure and 56% of bovine manure; To maximize the amount of biogas, the optimal mix is equine manure (6.5%), sheep manure (39.7%) and cattle manure (53.8%); and to optimize biogas quality, the mixture is equine manure (6.5%), sheep manure (42%) and cattle manure (51.5%). It is concluded that it is possible to produce biogas with manure from equine, sheep and cattle with corn silo in the Sama Inclán area.

Key words: Biogas production, manure (sheep, horse, cattle), corn silage substrate, production start time, production quantity, biogas quality.

## INTRODUCCION

El crecimiento de las actividades ganaderas en la zona de Sama Inclán, vienen acompañadas con un aumento de contaminación ambiental, gracias a que los estiércoles de los diferentes animales (vacunos, ovinos y equinos) no se les da ningún uso, y los gases de efecto invernadero como el metano son liberados ocasionando así un incremento en la contaminación del aire, al igual que por infiltración se contaminan tanto aguas subterráneas como superficiales. La zona de Sama Inclán está ubicada dentro del sector rural, y dicho sector es uno de los que más problemas presenta de electrificación, así como la facilidad para poder obtener gas para la cocción de alimentos. Es por ello que la producción de biogás, es una alternativa ya que aparte de la autogeneración de gas también tiene como finalidad reducir el impacto ambiental. Teniendo en consideración también que esta zona al dedicarse a la crianza de ganado y agricultura, son principales fuentes de ingresos económicos y la implementación de esta tecnología permite reducir costos, debido a que el subproducto (biol) puede ser usado como biofertilizante. Para cumplir con el principal objetivo de dicha investigación se elaboró nueve biodigestores, con diferentes concentraciones de los estiércoles vacunos, ovinos y equinos, para así poder determinar la mezcla óptima en cuanto a cantidad, calidad e inicio de producción del biogás.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

En los últimos tiempos, se puede apreciar que el biogás es usado en el mundo como fuente de combustible, sea este a nivel industrial tanto como doméstico. La explotación de este ha ayudado a que se pueda impulsar el desarrollo económico sostenido y a su vez promover una fuente de energía renovable.

En el Perú hay más incidencia de habitantes en el sector urbano a comparación del sector rural, siendo este un 26 % del total. Pero si nos basamos en lo que a standing de electrificación se refiere, podemos observar que en el sector urbano se cubre completamente con la prestación de dicho servicio, siendo este al 100 %.

Podemos ver como una alternativa de solución al problema de ausencia de electrificación a la autogeneración. Ya que este es el que frecuentemente se propone en sectores alejados de los tendidos eléctricos, como son los diversos sectores rurales; cabe indicar que los impedimentos técnicos tanto como los costos dificultan un sistema domiciliario, como lo es en el resto del país. Actualmente existen una variedad de alternativas a pequeña escala para la autogeneración, una de ellas vendría a ser la utilización de biomasa.

La disgregación de tejidos orgánicos en el ambiente húmedo y con falta de oxígeno, se da gracias a ciertas bacterias; las cuales al realizar su metabolismo van a generar el biogás. Al mismo tiempo, durante esta sucesión de putrefacción, algunos de los compuestos orgánicos se transforman a minerales, los cuales van a tener una facilidad para poder ser utilizados como fertilizantes de los cultivos.

Según (FAO, 2018) La biotecnología anaerobia contribuye a: a) disminuir el riesgo sanitario originado por los estiércoles a través del control de la contaminación de los mismos; b) generar energías renovables para las actividades domésticas; y c) abastecer de fertilizantes estabilizados (bioabono) para los cultivos. Por ello, la biotecnología anaerobia es de importancia en el control de la contaminación por estiércol y para la obtención de recursos y subproductos.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Formulación del problema general**

¿Es posible producir biogás utilizando una proporción de estiércol de ganado ovino, equino y vacuno en silo de maíz en la zona de Sama Inclán?

### **1.2.2. Formulación del problema específicos**

¿Cuál es el tipo de estiércol de ganado ovino, vacuno o equino que tiene mayor efecto en la producción de biogás?

¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para disminuir el tiempo de inicio de la producción de biogás?

¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para conseguir una mayor cantidad de producción de biogás en 10 días?

¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para conseguir una mejora de calidad de biogás?

## **1.3. Justificación e importancia**

En esta zona demográfica una de las principales actividades económicas es la crianza tanto de ovinos y equinos, contando con 1500 vacunos, 900 ovinos y alrededor de 300 equinos, es por ello que se propone el aprovechamiento de esta; ya que los desechos que más se generan por los animales utilizados son sus excretas (materia fecal). Cabe indicar que los residuos orgánicos constan de una extensa investigación a través del lapso de los años para que su empleo como biomasa sea posible, en pocas palabras poder convertirla en materia prima para así permitir la adquisición de energía y en particular la generación de biogás.

También nos permitirá encontrar soluciones concretas a problemas de contaminación de suelos, aire y agua. Al respecto, la biotecnología anaeróbica ayuda a: disminuir el riesgo sanitario y contaminante generado por el estiércol mediante medidas de control; generar energías renovables para las actividades domésticas; suministrar fertilizantes estabilizados (bioabono) para los cultivos. Con tales resultados se tenderá también la posibilidad de proponer cambios en la regulación de manejo de residuos ganaderos.

La importancia de este estudio radica en su contribución para reducir la contaminación ambiental, a través de la optimización de la producción del biogás, con la utilización de tecnologías limpias. Así como también, es importante porque se promoverá al aprovechamiento de los residuos ganaderos como, ovino, equino y vacuno en la zona ganadera de Sama Inclán, Tacna. Y es fundamental para que se desarrolle una propuesta normativa de carácter preventivo, de carácter de gestión, de carácter represor y reparador, al problema ambiental relacionado con la contaminación de los suelos, atmósfera y agua producidas por el sector ganadero. Y porque permitirá promover que los empresarios del sector ganadero aprovechen el uso de los residuos ganaderos, para que desarrollen buenas prácticas de la producción del biogás.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Producir biogás utilizando estiércol de ganado vacuno, ovino y equino en silo de maíz en la zona de Sama Inclán.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del tipo de estiércol de ganado ovino, vacuno o equino en la producción de biogás en la zona ganadera de Sama Inclán.
- Determinar la mezcla óptima de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para disminuir el tiempo de producción de biogás en la zona ganadera de Sama Inclán.
- Establecer la mezcla idónea de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para optimizar la cantidad de producción de biogás en la zona ganadera de Sama Inclán.
- Determinar cuál es la mezcla óptima de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para obtener un biogás de mejor calidad en la zona ganadera de Sama Inclán.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

$H_0$ : No es posible obtener biogás utilizando una mezcla de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno mayor a 10 L en 10 días de producción en la zona de Sama Inclán.



H<sub>1</sub>: Es posible obtener biogás utilizando una mezcla de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno mayor a 10 L en 10 días de producción en la zona de Sama Inclán.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

H<sub>2</sub>: El estiércol de ganado ovino es el que tiene mayor efecto en la producción de biogás.

H<sub>3</sub>: Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para mejorar el tiempo en el inicio de la producción de biogás.

H<sub>4</sub>: Se consigue una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir mayor cantidad de biogás.

H<sub>5</sub>: Se adquiere una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir biogás de mejor calidad.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Según (Mantilla & Duque., 2007) en el estudio titulado: “Diseño de una planta de productora de biogás utilizando desechos orgánicos de ganado vacuno”, realizado en la universidad nacional de Colombia tuvo como finalidad observar la probabilidad técnica y económica para poder implementar dicha planta a una gran escala. La planta cuenta con un diseño el cual permite transformar las heces de 1300 reses, así produciendo 500kW de energía eléctrica; este proceso se da gracias a un motor generador, el cual va a funcionar con la mezcla de biogás y combustible diésel. Con la instalación de estos biodigestores para transformar los residuos orgánicos a energía, se podrá solucionar uno de los problemas del sector rural en lo que compete a sus necesidades básicas, ya sea utilizando esta energía para la cocción de alimentos tanto como la iluminación. Cabe decir que la utilización de esta materia prima para generar biogás se practica en dicho país hace ya 30 años.

Según (Quesada et al., 2007) en el estudio titulado: “Generación de energía eléctrica a partir de biogás”, realizado en la Finca Pecuaria Integrada (FPI) de la Universidad EARTH; tuvo como finalidad determinar si un filtro de CaO y filtros de alambriña instalados en las tuberías de transporte, incrementarían la calidad del biogás; esta evaluación se dio mediante análisis químicos. Durante el procedimiento se observó que se obtuvo un resultado doble, siendo estos uno la descontaminación de las aguas, de acuerdo a la normativa vigente, y el otro resultado viniendo a ser la obtención del biogás. Finalmente se pudo determinar que con el filtro de óxido de calcio se logra la reducción del 40 % de ácido sulfhídrico, sin embargo, con el filtro de alambriña no se logró cuantificar por la oscilación de la aglutinación de H<sub>2</sub>S en los modelos tomados. Concluyendo finalmente que la eficiencia de dicho generador fue de 7 %, con una generación aproximada de 19 kWh con un dispendio promedio de 16 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Así habiendo la relación de 2 m<sup>3</sup> de biogás por kilowatt hora producido.

Según (Botero & Preston., 1987) en el estudio titulado “Biodigestor de bajo costo para producción de combustible y fertilizantes a partir de excretas”, tuvo como finalidad fabricar biodigestores de flujo continuo con materiales fáciles de conseguir y dependiendo de la obra de adecuación para determinar su tamaño, para posteriormente ponerlos en funcionamiento, siendo después de 30 días que se va obtener el biogás y abono orgánico. A la par también se realizó un análisis en el cual

se indica que siete metros de longitud y cuatro metros de circunferencia de un biodigestor, va a producir biogás para ocho horas diarias de cocción y permite la preparación de los alimentos que normalmente consume una familia, y para su funcionamiento se necesita de las heces producidas diariamente por una vaca. Teniendo finalmente como presupuesto US\$200 para su instalación. Dichas dimensiones del biodigestor pueden variar, de acuerdo a la escala a la cual se trabajará; dependiendo de la cantidad de residuos orgánicos disponible.

Según (Toala, 2014) en el estudio titulado: "Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica." Mediante análisis de laboratorio, se logró identificar el porcentaje de las características de estiércol vacuno, estableciéndose que este estiércol, dispone cierto porcentaje de residuos orgánicos y carga bacteriana, siendo un riesgo biológico para los residentes del lugar. La producción per cápita de estiércol en dicho rancho es de 615.45 kg/día, siendo esta una cantidad aprovechable para el diseño respectivo (186.5 kg/día de estiércol fresco); el volumen de carga es de 373 L/día, en relación 1:1, y un periodo de carga de 10 días para comenzar el proceso de degradación; finalmente se determina que con los cálculos del diseño del biodigestor (altura 1.5 m, y 2 m de diámetro) se puede obtener biogás, y estas medidas son adaptables a los tanque de polietileno que se encuentran en el mercado.

Según (Martínez, 2007) en el estudio que elaboró: "Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato" concluye en su estudio que el Estado de Guanajuato, posee un interesante número de cabezas de ganado en el ámbito bovino y porcino. En este trabajo, se presenta un estudio, empleando estadísticas locales, conducente a evaluar el potencial energético disponible a partir del uso de las excretas de ganado porcino, para producir Biogás y de ahí, establecer una valoración de la energía eléctrica anual obtenible, el ahorro en equivalente a barriles de petróleo que se podría manejar y la cantidad de gases que se dejarían de añadir a la atmósfera. El estudio se realiza dividiendo el estado por municipios y estableciendo los totales de cada variable de interés en el proceso. Los indicadores muestran que, dada la sencillez de implementación de biodigestores para la producción de biogás, esta debe ser una alternativa interesante e importante a desarrollar y potenciar en los próximos años en el país. En el caso particular del Estado de Guanajuato, existen cerca de un millón de cerdos de diferentes edades registrados, pudiendo producir una energía potencial para alimentar a más de 60000 viviendas estándar.

Según (Toruño et al., 2016) en el estudio que elaboró titulado: "Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM - ESTELÍ)", el autor concluye que la caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizada mediante modelos lineales generales y mixtos permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, esto también quedo demostrado en la prueba de la llama que al acercarle un cerillo se encendía rápidamente; sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad, de igual forma quedo demostrado en la prueba de la llama el cual necesitaba más tiempo para su combustión; La investigación se concluye de manera satisfactoria; el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas convencionales, como una forma de energía sustentable en comunidades rurales. La llama obtenida en la quema del biogás generado por los biodigestores era completamente azul, debido a que a los biodigestores se les instalo un filtro o trampa con agua y, que permitió absorber el  $\text{CO}_2$  y los  $\text{H}_2\text{S}$ .

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según (Chonlón, 2016) en el estudio: "Estudio de factibilidad de producir biogás con residuos orgánicos ganaderos para satisfacer la demanda energética, Caserío El Tambo, MOTUPE 2016". Se dispuso averiguar la factibilidad técnica y económica en el Caserío El Tambo, dado que el mismo se ocupa de la crianza de ganado vacuno, entre otros; por lo mismo el propósito de este proyecto fue presentar un estudio para generar biogás y poder utilizarlo como combustible, ya que el lugar no cuenta con energía eléctrica. Se analizó con profundidad los cálculos precisos para estimar en cuenta, para el estudio respectivo se utilizó recientes investigaciones referidos al tema. Se observó un resultado favorable en lo que respecta a la optimización de la eficiencia de los habitantes, en relación a los resultados de las encuestas y los estudios que se realizaron.

Según (Cornejo, 2012) en su estudio titulado: "Producción de biogás a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno) en la E.E.A. EL Porvenir - Distrito de Juan Guerra". Empleó botellas plásticas de capacidad de 1750 mL como biodigestores. El biogás que se produjo se reunió mediante desplazamiento de agua, en botellas plásticas de 260 mL, en un periodo de 35 días. La finalidad fue

poder precisar el rendimiento óptimo del agregado de estiércol y remanentes agroindustriales en la elaboración de biogás. Concluyendo que la torta de piñón genera biogás de baja calidad por solo producir 20.7 % de metano, lo cual no es viable para producir energía. La cascarilla de arroz ofrece buenas condiciones para producir biogás, produciendo 2735 mL de biogás/kg, contando con 48.9 % de metano. Siendo también el rumen de ganado bovino quien ofrece buenas condiciones para la producción de biogás, produciendo 1128 mL de biogás/kg, y contando con 47.2 % de metano.

Según (Paucar, 2015) quien elaboró el estudio "Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la granja V.A. Velebit SAC. ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica", para la cual se elaboró seis biodigestores de 80 litros, cuidando de que sean herméticos, se les incorporó dispositivos para la medición de parámetros cinéticos, al igual que un sistema de agitación. De acuerdo al análisis estadístico de la composición del biogás, no hubo diferencia entre los dos tratamientos. Para el Biol los parámetros de pH y temperatura no tuvieron diferencia, pero si para la presencia de macronutrientes, determinándose que el tratamiento de postura el de mejor resultados por su mayor cantidad de macronutrientes hallados. En ambos tratamientos el pH se mantuvo entre 6 a 8, la temperatura en el interior en el rango mesófilos (menor a 35°C) y la temperatura exterior que se encontró entre 15.9 a 19° C.

Según, (Tapia, 2016) en el proyecto realizado Ramis Resiliente, el cual fue realizado por CARE Perú y financiado por USAID – OFDA., con la finalidad de poder brindar una opción para producir energía limpia mediante la ganadería y mediante este se pueda contribuir a aumentar la suficiencia de los actores de dichas localidades, para que puedan llegar a cohabitar con los diversos sucesos desfavorables de origen climático; pudiendo así salvaguardar la vida de familias vulnerables en las provincias de Huancané y Azángaro. Para ello se realizó un prototipo piloto, el cual consta de la instalación de 10 biodigestores tubulares, el cual producirá biogás y biol; los cuales beneficiará de forma directa a la población, generando fuentes de energía limpia ya sea para cocción de alimentos en lo que a cocina se refiere, calefacción y un fertilizante potente para los cultivos agrícolas, el biol.

Según, (Tay, 2017) quien elaboró el estudio titulado "Rendimiento de biogás y biofertilizante en la digestión anaerobia de estiércol de animales y rastrojos en Lambayeque" concluye que las mezclas de estiércol de animales y rastrojos

afectaron el rendimiento de biogás y biofertilizante en su digestión anaeróbica, siendo mayor en la de estiércol de vacuno y rastrojos; La digestión anaerobia de la mezcla estiércol de vacuno y rastrojos alcanzó un volumen de producción de biogás de 0.013 m<sup>3</sup>/kg y un rendimiento de biol de 86.7 %; por otro lado el estiércol de animales presentó 38.7 – 78.9 % de carbono; 1.98 – 3.78% de nitrógeno; 11.5 – 19.5 relación C:N y 26.2 – 82.2% de sólidos totales.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Según, (Salazar et al., 2012) el estudio titulado “Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado, realizado en la ciudad de Tacna”, tuvo de finalidad, diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m<sup>3</sup> tipo manga de polietileno, para mantener el calor en el medio, se acondiciono la zanja con adobe y revestimiento de una cubierta negra; a dicho biodigestor se le suministró estiércol fresco de ganado ovino. Posteriormente se cuantifico la producción diaria de biogás, por medio de un gasómetro de campana flotante, obteniendo una producción media diaria de 437 litros. Asimismo, diversos factores climáticos, el diseño y los materiales para la elaboración tuvieron una gran influencia en la mantención del calor del sistema, logrando el incremento eficiente en la producción de biogás.

Según (Amusquivar, 2015) quien elaboró el estudio titulado: "Evaluación de la producción de biogás, bioabono y biol en un biodigestor chino mejorado, en zonas andinas" en el cual evaluó el comportamiento térmico del biodigestor relacionado con el sistema de aislamiento e implementación de un invernadero, para optimizar su producción. Los resultados obtenidos nos muestran una eficiencia térmica del biodigestor del 29.9 % para una temperatura media en el lodo de 18° C, temperatura dentro del invernadero de 22° C y temperatura media del ambiente a 14° C, produciendo entre 0.13 m<sup>3</sup> y 0.35 m<sup>3</sup> de biogás por día.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.1.1. La biomasa como producto de energía**

Según (Cabello, 2006) son aquellas sustancias orgánicas renovables que pueden ser bien de origen animal como de origen vegetal. La energía que se va a generar por medio de la biomasa tiene procedencia a partir de la energía que almacenan los seres vivos. Entonces en primera instancia se tiene que cuando los vegetales realizan la fotosíntesis, requieren de la energía solar para formar

sustancias orgánicas. Luego los animales al alimentarse mediante las plantas incorporan y transforman esa energía. Así mismo se generarán productos de la transformación, los cuales son considerados como residuos, los cuales se pueden disponer como fuente energética.

Según (Corona, 2013) existe una variedad de tipos de biomasa, los cuales pueden ser usados como fuente de energía. Existe una amplia clasificación, pero a continuación solo se nombrarán algunas:

- a) Biomasa natural: este tipo de biomasa es la que se produce de forma natural, no hay intervención humana. El problema radica en la captación y el transporte de dicho recurso hacia el lugar donde será utilizado. Lo cual hace que este tipo de biomasa sea económicamente no viable (Martínez, 2009)
- b) Biomasa residual seca y húmeda: la biomasa residual seca está comprendida por los residuos generados en las actividades de agricultura, ganadería, la industria maderera, entre otras. Se designa biomasa residual húmeda a los vertimientos biodegradables, tales sean aguas residuales urbanas e industriales y también a los residuos ganaderos (Martínez, 2009)

### **2.1.2. Procesos de Biodigestión**

El uso adecuado de desechos orgánicos se consigue mediante diversos procedimientos, los cuales van a incluir un reciclaje de estos mismos, para luego ser modificados a productos con un importe agregado. El reciclaje de los residuos orgánicos (materia fecal) ha tenido una gran propulsión, dada la eminente tarifa de los fertilizantes químicos, la exploración de opciones no tradicionales de fuentes de energía, y no olvidando la urgencia por encontrar medios de descontaminación y supresión de residuos.

Según (Varnero, 2011) La población microbiana pugna un rol significativo en la modificación de estos residuos en especial si se repara en que establecen un rango de respuestas anverso a la molécula de oxígeno. Esto va a permitir instaurar bioprocesos en competencia de la existencia o carencia de oxígeno, con el fin de aplicar convenientemente la variedad de residuos orgánicos.

- a) Digestión aerobia: Según (Blanco, 2009), La digestión aeróbica consta en las evoluciones ejecutadas por la variedad grupos de microorganismos,

en especial las bacterias y los protozoos, los cuales con la existencia de oxígeno van a actuar en el estiércol licuado, cambiándola a productos finales que no causen daño a las personas; por otra parte (Macías, 2015) asegura que la digestión aeróbica es un procedimiento donde los lodos se someten a aireación extensa, mediante un depósito alejado y destapado, el procedimiento implica la oxidación directa de materia orgánica biodegradable y la auto-oxidación de materia celular. A diferencia de la digestión anaeróbica, este proceso no permite usar el metano como fuente de energía.

- b) Digestión anaerobia: Es un proceso biológico complicado y degradativo, donde una porción de la materia orgánica de un sustrato será transformada a biogás, la cual está compuesta por diferentes gases entre ellos el dióxido de carbono y metano. Empleando este tipo de digestión es factible transformar una gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria, entre otros en subproductos útiles. En este proceso, los microorganismos metanogénicos van a cumplir con el rol de ser enzimas respiratorios y junto a las bacterias no metanogénicas van a establecer una cadena alimentaria. De esta forma, va a ser como los residuos orgánicos se van a transformar en biogás. Pero, el biogás producido por este proceso suele estar contaminado, lo cual puede complicar el empleo y limitar su aprovechamiento (Blanco, 2009)

### **2.1.3. Biodigestores**

Según Rivas, Faith , & Guillén (2010) Los biodigestores son sistemas diseñados para la elaboración de biogás mediante desechos orgánicos, lo cual va a permitir producir energía limpia, renovable y de bajo costo. Un biodigestor va a ser cualquier depósito cerrado, de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se va a almacenar residuos orgánicos mezclados con agua, que al degradarse en ausencia de oxígeno va a generar el biogás.

Dependiendo del usuario el biodigestor puede tomar cualquier forma, sea cilíndrico, rectangular, esférico, etc.; sin embargo, si se ve desde la perspectiva física y el proceso no se recomienda usar tanques rectangulares; ya que requerirán más materiales de construcción y dentro generan diversos puntos de temperatura y composición, lo cual impide la eficiencia del sistema.



Según León , Nomberto, & Mendoza (2019), “Los biodigestores conservan una ingeniería que constituye una de las alternativas más factibles de los últimos años, éstas pueden transformar las excretas y residuos orgánicos en biogás y abono orgánico, de tal forma que, a este último producto, se le dé un valor agregado en el mercado de fertilizantes”. Para implementarlos y construirlos, se han ido originado diferentes formas y tipos de construcción, cuyo fin primordial es lograr la mayor eficiencia para producir biogás, pero con la mínima inversión. Según (Mancha, 2015) Algunos de biodigestores más utilizados para la digestión anaerobia de los residuos orgánicos ganaderos son:

- Pozo séptico, este biodigestor es ideal para las aguas residuales domésticas.
- Biodigestor de campana flotante, echo de láminas de acero
- Biodigestor de campana fija, este biodigestor está construido con ladrillos.
- Biodigestor de plástico tubular, es uno de los más económicos está compuesto a base de plástico.
- Biodigestor tipo industrial este modelo de biodigestores, utiliza todo tipo de biomasa.

### 2.1.3.1. Planificación de un biodigestor

En cuanto a la planificación de un biodigestor, se considera los siguientes factores:

Tabla 1  
*Factores a considerar para la planificación de un biodigestor*

Factores a considerar para la planificación de un biodigestor	
Factores	Contenido
Factores humanos	Las características de las personas de la zona de localización. La necesidad con la que requieren energía y/o fertilizantes.
Factores biológicos	La disponibilidad de materia prima Las enfermedades (plagas sean humanas, agrícolas o pecuarias)
Factores utilitarios	Función que cumple. Tipo de uso La capacidad.
Factores físicos de un biodigestor	La ubicación del biodigestor. Las características climáticas. Las vías de acceso que se tiene. La topografía. Características del suelo.

Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.4. Productos finales de la digestión anaerobia

Durante el proceso de digestión anaerobia se van a generar productos, siendo estos principalmente el biogás y un bioabono el cual consta de un efluente estabilizado.

- a) **Biogás:** El biogás es un agregado gaseoso, producto de la disgregación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Está compuesta por una alta cantidad correspondiente al metano; el cual es un gas combustible que va a permitir el uso del producto con fines energéticos, al igual que va a estar formado por dióxido de carbono, y también con varias impurezas. Según (Varnero, 2011), La composición del biogás va a depender del material digerido, tanto como la actividad durante el proceso. Cuando la concentración de metano es mayor al 45%, indica que el biogás es inflamable. Su alta cantidad correspondiente al metano permite el uso del producto con fines energéticos El biogás tiene ciertas características particulares, las cuales se indican en la Tabla 2.

Tabla 2  
*Características particulares del biogás*

Características particulares del biogás	
Composición	55-70 % de CH <sub>4</sub> 30-45 % de CO <sub>2</sub> Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kWh/m <sup>3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6-12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750° C
Presión crítica	74-88 atm
Temperatura crítica	-82.5° C
Densidad normal	1.2 kg/m <sup>3</sup>
Olor	Huevo podrido
Masa molar	16.043 kg/kmol

Fuente: (Varnero, 2011)

- Componentes presentes en el biogás y sus efectos: Según (Pérez, 2010) Los elementos habituales que se hallan concurrentemente en el biogás son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), amoníaco (NH<sub>3</sub>), gas nitrógeno (N<sub>2</sub>), vapor de agua, Siloxenos y polvo. En la siguiente tabla se va a resumir los efectos de cada componente en el comportamiento del biogás, tabla 3.

Tabla 3  
Componentes del biogás y su efecto en las propiedades

Componentes del biogás y su efecto		Efecto
Componentes		
CO <sub>2</sub>	25-50 %	Baja el poder calorífico Incrementa el número de metano Causa corrosión Daña celdas alcalinas de combustible Corrosión en equipos
H <sub>2</sub> S	0-0.5 % vol.	Emisiones de SO <sub>2</sub> después de los quemadores Emisión de H <sub>2</sub> S en combustión imperfecta Inhibición de la catálisis
NH <sub>3</sub>	0-0.05 % vol.	Emisión de Nox Daño en las celdas de combustible Corrosión en equipos
Vapor de agua	1-5 % vol.	Daños de instrumentación por condensado Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas
Polvo	>.5. µm	Bloquea las boquillas y celdas de combustibles
N <sub>2</sub>	0-5 % vol.	Baja el poder calorífico
Siloxenos	0-50 (mg/m <sup>3</sup> )	Actúan como abrasivos, daño en motores

Fuente (Pérez, 2010)

- b) Bioabono:** Mientras se realiza el proceso anaeróbico, una cantidad de materia orgánica se va a transformar en metano, debido a esto el volumen de materia orgánica va ser inferior al de materias primas. Debido a esto la gran mayoría de materia orgánica del producto se va mineralizar, siendo así por lo que va a aumentar el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuir el nitrógeno orgánico (Cepero et al., 2012)

### 2.1.5. Producción del biogás

Según (Silva, 2012) La producción de biogás generalmente se da por el proceso de digestión anaerobia, la cual se va a dar en un ambiente sellado, al cual se le denomina biodigestor, pues, junto a bacterias anaerobias, en un determinado tiempo la biomasa homogenizada con agua, liberará gases como el metano, dióxido de carbono, entre otros. (Ruíz, 2012) asegura que la producción del biogás, se puede describir en 3 pasos; los cuales vendrían a ser la hidrólisis, la acidificación y la formación de metano. Y para que el proceso sea finalmente posible, van a estar comprometidas tres tipos e bacterias, teniendo así las bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas y las bacterias metanogénicas.

La hidrólisis va a ser el primer paso, mediante el cual la materia orgánica va a ser catalizada por las enzimas extracelulares de los microorganismos, estas

bacterias van a descomponer las cadenas complejas como de los carbohidratos, proteínas y lípidos.

El segundo paso es la acidificación, en la cual las bacterias que producen ácidos van a transformar los intermediarios de las bacterias fermentativas de ácido acético, el hidrogeno y el dióxido de carbono. Dichas bacterias son facultativamente anaerobias y tiene la factibilidad de crecer en condiciones ácidas. Para la producción de ácido acético se necesita la presencia de oxígeno y carbono; gracias a esto se utiliza el oxígeno libre en la solución. Y es así como las bacterias que producen acido van a crear la condición anaeróbica, la cual es importante para la producción de metano por medio de los microorganismos.

La formación de metano es el tercer paso y es por el cual las bacterias productoras de este, van a descomponer los compuestos con un bajo peso molecular. Así utilizando hidrogeno, dióxido de carbono y el ácido acético para formar metano.

**2.1.5.1. Factores que influncian la coloración de la llama**

Según (Serrano, 2018) Existe una variedad de elementos que influyen en la coloración de la llama producida por la incineración de un hidrocarburo. Los principales son los grados de la llama y la demasía de aire; los cuales son elementos dependientes entre sí. Siendo así que dependiendo de la índole de combinación aire-combustible se presentará un incremento en la velocidad de propagación de la llama.

Tabla 4  
*Coloración de llama en relación al aire en la combustión de Gas natural.*

Coloración de llama en relación al aire	
Suministro de aire	Gas natural
Deficiencia de aire	Llama con tendencia amarilla
Aire correcto	Llama celeste con leves puntas rosadas
Exceso de aire	Llama muy azul y semitransparente

Fuente (Serrano, 2018)

**2.1.5.2. Producción de gas a partir de la degradación de materia orgánica sometida a diferentes temperaturas**

Según (Sogari, 2003), Respecto a la serie de curvas mostradas en la *figura 1*, se puede determinar que, el incremento de la temperatura es proporcional a la transformación de materia orgánica en biogás. Siendo así, que la apariencia de las curvas se asemeja a la de una función exponencial, mientras el valor del tiempo

aumenta, la curva entonces crecerá hasta un tiempo definido en el cual la concepción de gas será constante.

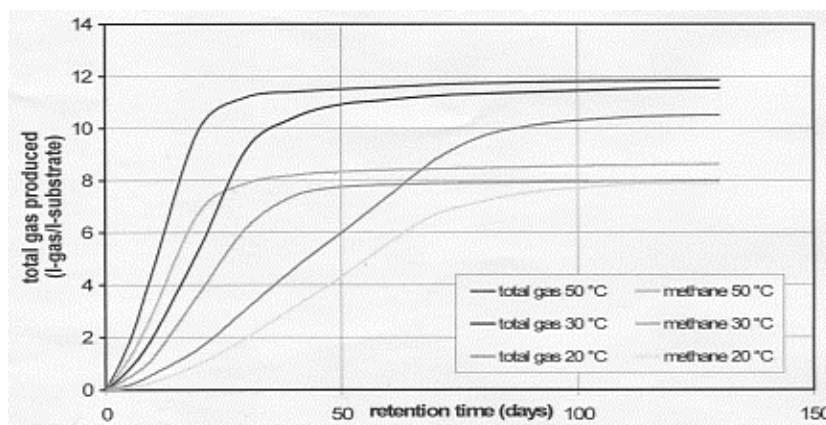


Figura 1: Cantidad total de gas producido por kilogramo de materia, para diferentes temperaturas.

Fuente: (Sogari, 2003)

La expresión matemática que permite la reconstrucción de la curva que explica la elaboración de metano en competencia del tiempo, debe efectuar los siguientes requisitos:

Apariencia de la curva compete a una función exponencial.

La disgregación de materia replica a una función exponencial.

La manifestación propuesta efectúa con los siguientes requisitos iniciales:

Cuando  $t = 0$  la elaboración de metano es invalida.

Cuando  $t = \infty$  la elaboración de metano adquiere el valor supremo probable, es decir la porción máxima de metano que puede elaborar el resto orgánico que se localiza adentro del fermentador.

Siendo así que se puede manifestar del siguiente modo:

$$M_{gen} = M_{max} * (1 - e^{-t/A})$$

Donde:

$M_{gen}$  = cantidad de metano elaborado mediante la fermentación.

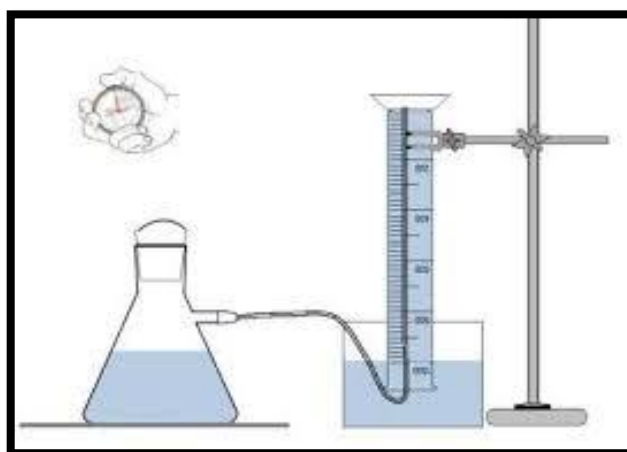
$M_{max}$  = cantidad máxima de metano que puede elaborar un elemento fijo.

$T$  = tiempo

$A$  = constante que va a depender de la temperatura de trabajo, cantidad de materia orgánica autentica en el producto que se disgrega, etc.

### 2.1.5.3. Medición del volumen del biogás

La producción de biogás en reactores depende del tipo de sustrato, la temperatura y acidez, condiciones que determinan la actividad metanogénica. Para medir el volumen de biogás se puede aplicar el método “desplazamiento de volumen de agua”, el cual obedece al principio físico de Arquímedes, el cual indica que, un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado. Para este método, el volumen de biogás se medirá colocando el extremo libre de la manguera en el interior de una probeta invertida graduada llena de agua cuya parte inferior estará sumergida en el agua de un balde; luego, abriendo la llave de la manguera se transferirá el biogás hacia la probeta y desplazará el agua que contiene hacia el balde, finalmente la llave de la cámara se cerrará cuando el volumen de agua desplazada alcance la capacidad graduada de la probeta. Las mediciones se repetirán hasta que no quede nada de biogás (Aguilar & Hito, 2017)



*Figura 2: Prueba de probeta invertida*  
Fuente: (Melo Niño et al., 2016)

### 2.1.6. Ventajas y beneficios en la producción de biogás

- Genera energía térmica de forma directa, gracias a la reacción exotérmica que se produce en el proceso; y energía eléctrica, mediante la combustión del mismo.
- Gracias a que su producción es de forma continua, se puede conectar a la red eléctrica, siendo esta una energía base, haciendo que pueda ser más verás.
- La energía térmica que es generada, se puede utilizar para la alimentar los sistemas de calefacción, así como también los sistemas de refrigeración.

- Dado a la abundante producción de biomasa, se puede generar una independencia de las redes eléctricas.
- Como residuo final del proceso, se produce un óptimo biofertilizante, el cual tiene uso agrícola, sus excelentes propiedades hacen que este tenga la capacidad de mejorar suelos y cultivos, haciendo que la productividad de la tierra incremente.
- Los residuos finales también pueden ser empleados en procesos de rellenos sanitarios, este logra conseguir una reducción del volumen del relleno, aumentando la vida útil del mismo, a la vez que disminuye su impacto ambiental.
- Regalías consecutivas, ya que es sostenible durante el proceso, gracias a que se genera gas metano, energía eléctrica, energía térmica, y también por el valor agregado que recibe el residuo final (biofertilizantes sólidos y líquidos)
- Ayuda a que se pueda plantear una buena gestión de los residuos sólidos, gracias a que una de sus finalidades es reutilizar los desechos para poder generar energía (térmica y eléctrica), al mismo tiempo que contribuye a que se cuide el medio ambiente, dado que evita la aglomeración de desperdicios y previene la liberación de gases de efecto invernadero.

### **2.1.7. Producción de biogás y beneficios ambientales**

Al obtener biogás se minimiza la propagación de gases de efecto invernadero, logrando así aprovechar energéticamente este tipo de residuos (orgánicos), posteriormente a este proceso se puede obtener un residuo, el cual puede ser usado como fertilizante, con un valor agregado. Según (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007) El mencionado proceso anaerobio puede aplicarse a residuos ganaderos y agrícolas, así como también a los residuos que genera las industrias de las modificaciones de los productos que se obtiene. Se puede mencionar entre los residuos: estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas. Según(López et al., 2014) En las zonas ganaderas, donde existen rebaños vacunos, de aves o de cerdo, generan considerables cantidades de excreta de ganado vacuno, que es una materia orgánica excelente para biodigerir y producir gas, ya que contienen una significativa cantidad de componentes químicos, los cuales pueden procesarse para obtener energía.

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero como es un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable.

Según Lazarte (Lazarte, 2016), 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 de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico.

Otro beneficio ambiental de suma importancia de producción, es como significativamente reducen el trabajo de los rellenos sanitarios, reduciendo así a su vez los costos de la disposición de residuos orgánicos, y a su vez obteniendo sub-productos con valor agregado. Aparte de que, la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, reduce el riesgo de lixiviación de nitratos, contribuyendo así a la protección de las aguas subterráneas; al igual que elimina el problema de emisión de olores molestos, como, por ejemplo: el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar.

Según (Varnero, 2011), "El metano es un gas que en la atmósfera terrestre contribuye al efecto invernadero. El contenido de metano en la atmósfera se ha duplicado desde la última era de hielo a 1,7 mL/m<sup>3</sup> en la actualidad. Este valor se ha mantenido constante en los últimos años. El metano contribuye un 20% al efecto invernadero antropogénico. Entre las fuentes de metano de origen humano, más del 50 % corresponde a la ganadería y hasta el 30 % provienen a partir del cultivo de arroz.

Según (Trueba et al., 2014) Con la finalidad de poder hacer una comparación del impacto de los diferentes gases de efecto invernadero, se les asigna un factor, el cual representa su potencial de calentamiento global, en comparación con el CO<sub>2</sub> que se utiliza como "gas de referencia" (Tabla 4). Se puede apreciar que el metano es un gas de efecto invernadero, más potente que el dióxido de carbono.

Tabla 5  
*Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero*

Gas	Potencial de calentamiento
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
SF <sub>4</sub>	23900
PFC	9200
HFC	11700

Fuente:(Trueba Salas et al., 2014)



### **2.1.8. Factores determinantes en la producción de biogás**

Según (Varnero, 2011), Es importante examinar algunos factores durante el proceso de digestión anaerobia, dado que los microorganismos metanogénicos, suelen ser susceptibles a los cambios ambientales. Algunas de estas condiciones ambientales son:

#### **2.1.8.1. Naturaleza y composición bioquímica de materias primas**

Residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros. Para el proceso microbiológico no solo va a requerir de fuentes de carbono y nitrógeno, a su vez va a tener que presentar un cierto equilibrio en las sales mineral. Los estiércoles suelen tener estos elementos en adecuada proporción. Cuando hay un alto contenido de lignina es necesario hacer un tratamiento previo. El ganado vacuno y equino tienen un 35 % de lignina, mientras que el ovino un 32 %. La degradación de los residuos orgánicos de los animales, la cantidad de producción de biogás, así como su rendimiento van a depender de diversos factores, principalmente del tipo de animal y como este haya sido alimentado.

#### **2.1.8.2. Clasificación de sustratos**

(Palomo, 2019) Se puede clasificar de cuatro formas a los sustratos.

- Los sustratos de primera clase, son sólidos como el estiércol o basura doméstica y se degradan eficientemente en digestores tipo Batch.
- Los sustratos de la segunda clase, son viscosos como los lodos contaminados y para su degradación es necesario biodigestores de mezcla completa de operación continua.
- Los sustratos de tercera clase, son fluidos con sólidos suspendidos, por lo cual requieren una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor, deben tratarse con digestores de filtro anaerobio.
- Los sustratos de cuarta clase, son fluidos muy contaminados y dado a su alto contenido de DQO deben ser degradados en digestores aerobios.

#### **2.1.8.3. Relación carbono/nitrógeno de las materias primas.**

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono va a constituir la fuente de energía mientras que con el nitrógeno se formaran nuevas células. Las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de C/N debe tener un rango de 30:1 hasta 20:1. Cuando la materia prima tiene un rango

mayor a 35: 1, la descomposición es más lenta, mientras que si la relación es menor a 8:1 se frena la actividad bacteriana ya que se forma amonio en exceso. Cuando la materia prima no cuenta con la condición necesaria de relación C/N, es necesario que se realicen mezclas para obtener la relación óptima.

Tabla 6

*Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos animales*

Valores promedios de relación carbono/nitrógeno			
Residuos animales	% C	%N	C/N
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1

Fuente: (Branca et al., 2014)

#### **2.1.8.4. Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.**

Toda la composición de la materia orgánica es a base de agua y la parte sólida denominada sólidos totales (ST). Cuando el porcentaje de estos sólidos totales es elevado limita la movilidad de las bacterias metanogénicas.

Tabla 7

*Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de residuos animales*

Sólidos totales de Residuos de animales	
Fuente de estiércol	% Sólidos totales
Bovinos	13.4 – 56.2
Ovinos	32.0 – 45.00
Equinos	19.0 – 42.9

Fuente: (Varnero, 2011)

#### **2.1.9. Residuos Ganaderos**

Los residuos ganaderos son aquellos que se producen en consecuencia a la crianza de ganado.

Según (MINAGRI, 2012) El tratamiento de la deyección de los animales, pueden darse mediante compostaje, secado artificial y otros, con la finalidad de transformarse en un producto orgánico estabilizado, que cuente con características óptimas para ser utilizado en cultivos agrícolas. Asimismo, estos residuos pueden ser aprovechados energéticamente, mediante técnicas de fermentación anaerobia, para la producción y el aprovechamiento de biogás. Otros sistemas de tratamiento susceptibles son la incorporación de aditivos, separación sólidos líquidos y nitrificación-desnitrificación.

Tabla 8  
Sistema de alimentación del ganado

Sistema de alimentación del ganado	
Residuos ganaderos	
Sistema de alimentación del ganado “establo”	Se refiere al sistema utilizado para la cría del ganado. Los animales son confinados y alimentados en establos. El estiércol producido bajo este sistema de producción puede ser recolectado fácilmente.
Sistema de alimentación del ganado “pastoreo y establo”	Se refiere al sistema de producción en el cual los animales pasan parte del día alimentándose en los pastos y otra parte del establo. Únicamente el estiércol producido durante las horas de confinamiento en el establo o en la sala de ordeño puede ser recolectado para la producción de biogás.
Sistema de alimentación de ganado “pastoreo estacional”	Se refiere al sistema donde el ganado pasa un periodo de tiempo al año en los pastos y otro confinado en establo, el estiércol para la producción de biogás se recoge solo durante el periodo en el que la alimentación se lleva a cabo en los establos, durante el periodo de pastoreo, no se recoge el estiércol.
Sistema de alimentación de ganado “pastoreo durante todo el año”	Actividad ganadera de base pastoril en la cual los animales pasan todo el año en los pastizales, por lo que el estiércol no se recoge para la producción de biogás.

Fuente: (Branca et al., 2014)

### 2.1.9.1. Cualidades y características de excretas

- a) Excretas de ovino: Según (Sánchez, 2016), Este estiércol es utilizado como fertilizante con el propósito de desgastar los desechos del ganado y restaura los nutrientes de tierras fértiles, gracias a sus características químicas, entre las cuales destacan su tenue contenido de nitrógeno inorgánico, medida mesurada de potasio y acaudalada en cloruro de potasio, siendo así que con este tipo de abono se elude quemar las plantas en desarrollo.

Tabla 9  
Características químicas de excretas de ovinos

	Características químicas de excretas de ovinos										
	pH	C/N	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
	(%)										(µm/ml)
Excreta ovina	8.09	20	2.04	1.51	2.42	2.06	0.32	5	24	65	230

Fuente (Sánchez, 2016)

- b) Excretas de equinos: Según (Sánchez, 2016)El estiércol de caballos se puede esparcir en la tierra para mejorar el suelo, el abono a partir de este

tipo de estiércol reduce el riesgo de proliferación de parásitos internos y las semillas de las malas hierbas.

- c) Excretas de vacunos: Según (Cárdenas et al., 2013), El estiércol de ganado vacuno varía en su composición según las especies de las que procedan, la forma en que se conserven y la alimentación que se proporciona.

Tabla 10  
*Características químicas de excretas de vacunos*

Características químicas de excretas de vacunos	
Componente	Porcentaje (%)
Agua	15.7
Sustancia orgánica seca	60.3
pH	7.6
Nitrógeno total	2.7
Fósforo (P)	1.6
Potasio (K)	2.8
Calcio (Ca)	3.5
Magnesio (Mg)	2.3
Sodio (Na)	0.3
Azufre (S)	0.3
Boro (B) ppm	64

Fuente (Cárdenas et al., 2013)

#### **2.1.10. Coste de generación eléctrica de diversas fuentes renovables**

Según (Institute For Energy Research, 2019) realizar un análisis económico comparativo del coste por MWh con respecto a cada tecnología de obtención de energía no es fácil, ya que, las diversas variables interfieren en el funcionamiento de cada una. Como el caso de energía solar y eólica, que, al ser provenientes de recursos renovables intermitentes y que no dependen del operador sino más bien del clima, estos pueden requerir una inversión adicional del sistema como energía de respaldo, la cual no se incluye en la nivelación de costos.

Para realizar las comparaciones se incluyen los costos totales de construcción infraestructura, de operación y mantenimiento, combustible, así como la tasa de utilización de cada una de las tecnologías. Siendo la energía producida mediante biomasa una de las más económicas.

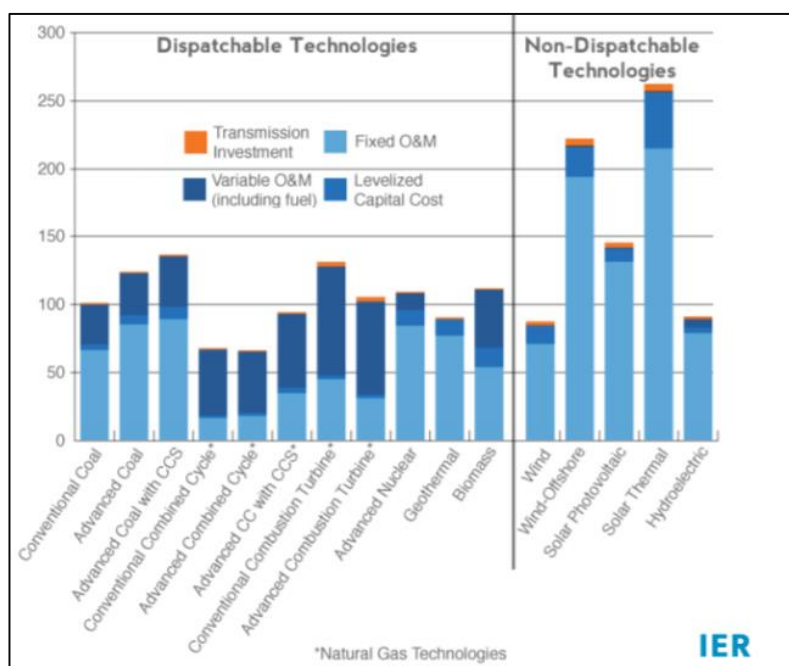


Figura 3: Costo nivelado de las nuevas tecnologías de generación eléctrica por MWh  
 Fuente: (Energy Information Administration, 2013)

Tabla 11  
 Comparación de costos de generación de energía de diferentes tecnologías renovables

Comparación de costos de diferentes tecnologías renovables								
Tecnología	Potencia tipo	Horas de funcionamiento anual (equivalente)	Producción anual MWh/año	Coste instalación por MWh/año	Coste de amortización + interés por MWh	Coste OM por MW h	Coste de combustible	Coste total (€/MWh)
Aerogenerador	2	2200	4400	1200000	43.6	21.8	0	65.4
Termosolar sin alm.	49.9	2400	119760	3700000	123.3	47.3	0	170.6
Termosolar con alm.	49.9	3000	149700	5000000	133.3	50	0	183.3
Biomasa 15 MW	15	6500	97500	2200000	27.1	20.8	20	67.9
Biomasa 5MW	5	6500	32500	2500000	30.8	35.4	20	86.2
Fotovoltaico	10	2200	22000	1300000	47.3	13.6	0	60.9
Cogeneración 20 MW (turbina en ciclo combinado)	20	6000	120000	1100000	14.7	10.4	58.3	83.4
Cogeneración 5 MW (Motor gas)	5	6000	30000	900000	12	14.8	83.3	110.1

Fuente: (García, s. f.)

## **2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **2.2.1. Bioabono**

Es un fertilizante líquido que cuenta con las mismas cualidades de abonos orgánicos, los cuales van a reemplazar de manera eficiente y eficaz a los abonos químicos; muy aparte de proporcionar beneficios al suelo.(María A, 2010)

### **2.2.2. Biogás**

Es una mezcla gaseosa, la cual tiene procedencia de la degradación de los residuos orgánicos, la cual tuvo que estar en condición anaeróbica. Está compuesta en gran cantidad por metano; el cual es un gas combustible que va a permitir el uso del producto con fines energéticos (Servicios Manufactureros., 2008)

### **2.2.3. Biodigestor**

Es un contenedor hermético el cual va a permitir la degradación de la materia orgánica en circunstancias anaeróbicas y va a facilitar la erradicación del gas producido para utilización como energía (Guerrero, 2016)

### **2.2.4. Biomasa**

Materia orgánica producto de un procedimiento biológico, voluntario o estimulado, el cual va a poder ser utilizado como fuente de energía. La potencia química de la biomasa puede repararse incinerándola inmediatamente o modificándola en combustible.(Universidad de Murcia, 2010)

### **2.2.5. Efluente estabilizado**

Es un producto de desecho de un proceso, que va a encontrarse en forma líquida y es constante. Este va a ser vertido a un cuerpo receptor (Groppelli, 2014)

### **2.2.6. Estiércol**

Residuos generados como consecuencia de la crianza de ganado (Lazarte Segura, 2016)

### **2.2.7. Pecuario**

Es aquella zona en la que se realiza alguna actividad relacionada a la producción de ganado y que va a formar parte de las actividades

agropecuarias, y a su vez que a su vez va a constituirse como actividad primaria dentro de la economía.(Varnero, 2011)

#### **2.2.8. Purines**

Son residuos orgánicos, en este caso van a ser los excrementos sólidos o líquidos, los cuales van a tener la capacidad de fermentar ya van a ocasionar un impacto ambiental.(Pérez Medel, 2010)

#### **2.2.9. Tiempo**

Elemento ligado a la duración de eventos como a los procesos de cambio.(León, 2011)

### CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y nivel de la investigación

Cuantitativa – experimental

#### 3.2. Población y/o muestra de estudio

- Excretas de ganado vacuno, ovino y equino generadas en la zona ganadera de Sama Inclán.
- Composición de las mezclas a evaluar.

Tabla 12  
Composición de las muestras a evaluar en litros

Experimento	Composición de las muestras a evaluar		
	Estiércol equino	Estiércol ovino Litros	Estiércol vacuno
1	1.1	3.2	4.3
2	0.8	3.4	4.3
3	0.8	3.2	4.5
4	0.6	3.7	4.3
5	0.6	3.4	4.5
6	0.6	3.2	4.8
7	1.1	3.2	4.3
8	0.8	3.4	4.3
9	0.8	3.2	4.5

Fuente: elaboración propia.

#### 3.3. Operacionalización de variables

Tabla 13  
Operacionalización de variables

Variable	Operacionalización de variables		Indicadores
	Definición conceptual	Dimensión	
	Variable independiente		
Tipo de estiércol	Residuos generados como consecuencia de la crianza de ganado	Estiércol vacuno Estiércol ovino Estiércol equino	L
	Variables dependientes		
Producción de biogás	Mezcla gaseosa, procedente de la degradación de los residuos orgánicos, en condición anaeróbica.	Volumen de biogás	L
Tiempo de producción de biogás.	Elemento ligado a la duración de eventos como a los procesos de cambio	Tiempo	L/días
Calidad de la producción de biogás.	Determinación de la calidad por el color de la llama	Muy mala Mala Regular Buena	Sin llama Llama amarillenta Llama muy azul Llama celeste con puntas rosadas

Fuente: elaboración propia



### 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Esta investigación se realizó en la zona ganadera de Sama Inclán.

Dicha área de estudio se encuentra ubicada en la región y provincia de Tacna, y distrito de Sama Inclán a 312 msnm.

Siendo sus coordenadas UTM – ZONA 19k:

NORTE: 8032577.1

ESTE: 341202

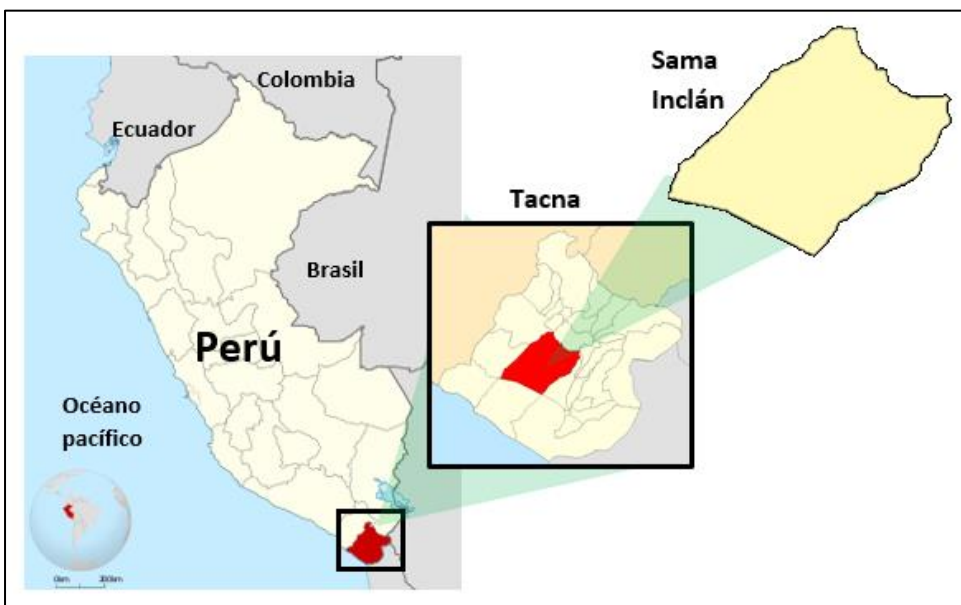


Figura 4: Mapa de macro localización de donde se realizó la investigación  
Fuente: Elaboración propia

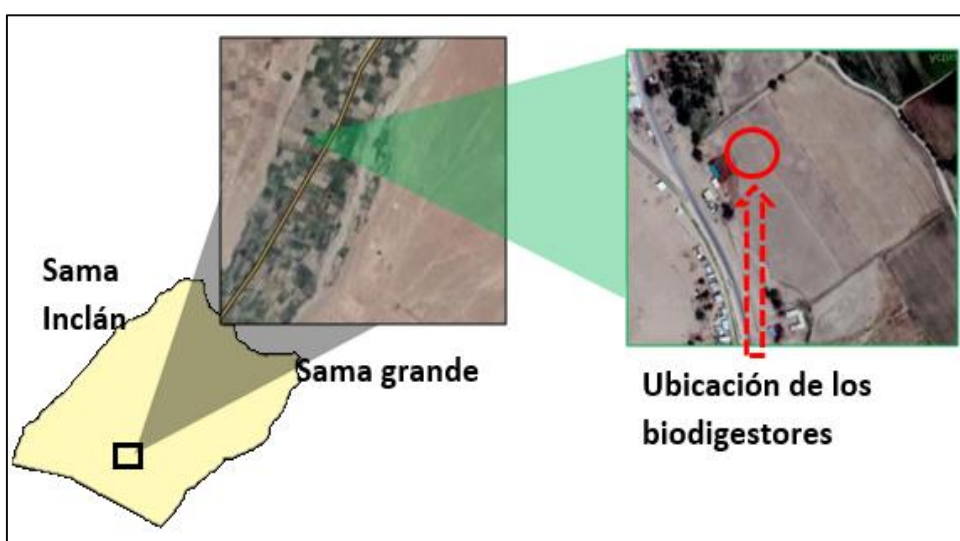


Figura 5: Mapa de micro localización de donde se realizó la investigación.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1. Técnicas para la recolección de datos

Se construyeron 27 biodigestores de 20 litros , y nueve biodigestores de 50 litros, cada uno fue llenado con diferentes concentraciones de los diferentes tipos de estiércol en litros cumpliendo una relación de 1:4 en respecto al agua, tal como sugiere (Ushñahua et al., 2011), con la finalidad de producir biogás en Sama Inclán y determinar la mezcla óptima para mejorar el tiempo de inicio de la producción, el volumen producido y la calidad del biogás mediante coloración de la llama.

#### 3.4.1.1. Biodigestores de bidón de 20 L

##### a) Materiales para cada biodigestor de 20 L

- Bidón 20 L
- 2 roscas de ½ in
- 2 gomas de seguridad
- 2 llaves de ½ in
- 2 abrazaderas
- Broca circular
- 1 m de manguera plástica de ½ in
- Cinta teflón ½ in

##### b) Construcción de cada biodigestor

- Primero se sacó la tapa al bidón, y con ayuda de la broca circular se hizo un orificio de ½ in, tanto en la tapa como en el pie del bidón.
- A dichos orificios se les colocó las roscas con sus respectivas gomas de seguridad; el orificio de la parte inferior se realizó para poder evacuar los lixiviados.
- Se anexaron las llaves de ½, asegurándola con abrazaderas y cinta teflón
- En la llave que se anexo en el orificio de la tapa se puso la manguera de plástico de ½ in.
- Por último, se rotularon los biodigestores respectivamente.

#### 3.4.1.2. Implementación de los biodigestores de 20 L

- a) En el software Statgraphic se creó un diseño multifactorial 3<sup>3</sup>, para lo cual se elaboraron 27 biodigestores de 20 L, con concentraciones variadas de cada tipo de estiércol y silo de maíz.
- b) Siendo como constante un kilogramo de silo de maíz en cada experimento.
- c) Pero en aquellos experimentos que no se completó el total de seis kilogramos de estiércol, la diferencia se reemplazó por silo de maíz, teniendo así nuestras concentraciones como lo muestra la tabla 14.

Tabla 14  
Composición de las muestras a evaluar en bidones de 20 L en kilogramos y litros

Bloque	Composición de las muestras de bidones de 20 L							
	Estiércol de vacuno	Estiércol de ovino	Estiércol de equino	Silo de maíz	Estiércol de vacuno	Estiércol de ovino	Estiércol de equino	Silo de maíz
	kg				L			
1	0	0	0	7	0	0	0	2.1
2	0	2	2	3	0	0.76	1.1	0.9
3	0	0	2	5	0	0	1.1	1.5
4	1	2	2	2	0.35	0.76	1.1	0.6
5	1	0	2	4	0.35	0	1.1	1.2
6	1	1	2	3	1	0.38	1.1	0.9
7	0	2	0	5	0	0.76	0	1.5
8	1	2	0	4	0.35	0.76	0	1.2
9	2	1	2	2	0.7	0.38	1.1	0.6
10	0	0	1	6	0	0	0.55	1.8
11	2	0	2	3	0.7	0	1.1	0.9
12	0	2	1	4	0	0.76	0.55	1.2
13	0	1	2	4	0	0.38	1.1	1.2
14	0	1	1	5	0	0.38	0.55	1.5
15	2	1	0	4	0.7	0.38	0	1.2
16	2	0	1	4	0.7	0	0.55	1.2
17	2	2	1	2	0.7	0.76	0.55	0.6
18	2	2	2	1	0.7	0.76	1.1	0.3
19	1	2	1	3	0.35	0.76	0.55	0.9
20	2	2	0	3	0.7	0.76	0	0.9
21	2	1	1	3	0.7	0.38	0.55	0.9
22	1	0	0	6	0.35	0	0	1.8
23	1	0	1	5	0.35	0	0.55	1.5
24	1	1	1	4	0.35	0.38	0.55	1.2
25	2	0	0	5	0.7	0	0	1.5
26	1	1	0	5	0.35	0.38	0	1.5
27	0	1	0	6	0	0.38	0	1.8

Fuente: Elaboración propia

- d) Los biodigestores se implementaron el 05 de mayo del 2019, y 20 días después se empezó la evaluación de cada uno de estos.
- e) Previamente a ser implementados los biodigestores de 20 litros no se realizó los cálculos para determinar el porcentaje de llenado de los biodigestores y la relación C/N.

Tabla 15  
*Porcentaje de llenado y relación C/N de los biodigestores de 20 litros*

Porcentaje de llenado de los biodigestores y relación C/N de 20 litros					
Bloque	Total de componentes	de Agua en relación 1:4	Total de la mezcla	Porcentaje de llenado	Relación C/N
		L			
1	2.1	8.4	10.5	52.5	80
2	2.76	11	13.8	69	45.7
3	2.6	10.4	13	65	56.7
4	2.81	11.2	14.1	70.3	42.6
5	2.65	10.6	13.3	66.3	53.2
6	3.38	13.5	16.9	84.5	48.2
7	2.26	9.04	11.3	56.5	64.9
8	2.31	9.24	11.6	57.8	60.7
9	2.78	11.1	13.9	69.5	44.5
10	2.35	9.4	11.8	58.8	67.1
11	2.7	10.8	13.5	67.5	49.8
12	2.51	10	12.6	62.8	54.3
13	2.68	10.7	13.4	67	51
14	2.43	9.72	12.2	60.8	60.5
15	2.28	9.12	11.4	57	63.3
16	2.45	9.8	12.3	61.3	59.1
17	2.61	10.4	13.1	65.3	47.3
18	2.86	11.4	14.3	71.5	39.6
19	2.56	10.2	12.8	64	50.7
20	2.36	9.44	11.8	59	56.6
21	2.53	10.1	12.7	63.3	53
22	2.15	8.6	10.8	53.8	75.1
23	2.4	9.6	12	60	63
24	2.48	9.92	12.4	62	56.7
25	2.2	8.8	11	55	70.5
26	2.23	8.92	11.2	55.8	67.6
27	2.18	8.72	10.9	54.5	72.2

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1.3. Biodigestores de bidón de 50 L

Se elaboraron nueve biodigestores con algunas modificaciones del diseño de bidón de (Jerves, 2012)

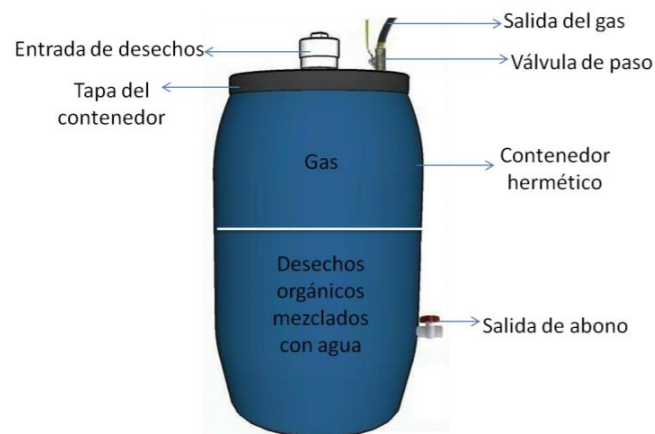
#### c) Materiales para cada biodigestor de 50 litros

- Bidón 50 L
- 2 roscas de 2 in
- 1 tapón de 2 in
- 2 gomas de seguridad
- 1 llave de 2 in
- 1 llave de ½ in (salida)

- 2 abrazaderas
- 1 tuerca y contratuerca
- Broca circular
- 2 m de manguera plástica de ½ in

**d) Construcción de cada biodigestor**

- Primero se sacó la tapa al bidón dejándolo así abierto.
- Posteriormente con ayuda de la broca circular se hizo un orificio de 2 in, tanto en el pie del bidón como en la tapa.
- A dichos orificios se les colocó las roscas con sus respectivas gomas de seguridad.
- Al orificio de la tapa se le colocó el tapón de 2 in, para cerrar el bidón y evitar el ingreso de aire.
- Al orificio del pie del bidón se le colocó la llave de 2 in, para poder evacuar los lixiviados.
- En la tapa se pone la tuerca con la contratuerca, sellándolas para evitar fugas.
- Se anexa la llave ½ in, para colocar la manguera, asegurándola con abrazaderas.
- Por último, se rotuló cada biodigestor respectivamente.



*Figura 6: Diseño del biodigestor*

Fuente (Jerves, 2012)

### 3.4.1.4. Implementación de los biodigestores de 50 litros

- f) Primero se verificó que las mezclas, cumplan con las condiciones anaeróbicas dentro de los biodigestores de 50 L de capacidad, para lo cual se calculó el porcentaje de capacidad que se llenaría con la mezcla de estiércol, silo de maíz y el agua; para crear la condición anaerobia los biodigestores se llenaron en un 90 %.

Tabla 16

*Porcentaje de llenado de los biodigestores de 50 L*

Porcentaje de llenado de los biodigestores		
Componente	Proporción (L)	Porcentaje de llenado del bidón de 50 L
Mezcla de estiércoles (equino, ovino y vacuno)	8.5	17
Silo de maíz	0.5	1
Agua según relación 1:4	36	72
Total	45	90

Fuente: elaboración propia

- g) Una vez establecido que la mezcla de estiércol sería de 8.5 L, se determinó los valores máximos y mínimos de estos, con la finalidad de que estos no excedan la condición óptima de relación carbono/nitrógeno; obteniendo así:

Tabla 17

*Valores máximos y mínimos de cada tipo de estiércol*

Tipo de estiércol	Valores máximos y mínimos de cada tipo de estiércol			
	Valor máximo		Valor mínimo	
	Litros (L)	Porcentaje (%)	Litros (L)	Porcentaje (%)
Estiércol equino	1.1	12.5	0.6	6.5
Estiércol ovino	3.7	43.5	3.2	37.5
Estiércol vacuno	4.8	56	4.3	50

Fuente: elaboración propia

- h) Posteriormente en el software Statgraphic se creó el diseño de mezclas Simplex-Látice de modelo cuadrático, en el cual para el total de la mezcla pusimos 100 %, el cual representó los 8.5 L de estiércol total que entraría por biodigestor, al igual que se puso los valores máximos y mínimos al porcentaje correspondiente. De dicho modelo se obtuvo nueve experimentos.

Tabla 18  
Concentraciones de los experimentos a evaluar en porcentaje con respecto a 8.5 L

Concentración de los experimentos a evaluar			
N° de biodigestor	Estiércol equino	Estiércol ovino	Estiércol vacuno
1	12.5	37.5	50
2	9.5	40.5	50
3	9.5	37.5	53
4	6.5	43.5	50
5	6.5	40.5	53
6	6.5	37.5	56
7	12.5	37.5	50
8	9.5	40.5	50
9	9.5	37.5	53

Fuente: elaboración propia

- i) Se verificó que dichos experimentos no superen la relación carbono nitrógeno 35:1; para lo cual se aplicó la fórmula para calcular el balance Carbono-Nitrógeno; para lo cual primero se determinó la densidad de cada tipo de estiércol (equino, ovino y vacuno) y silo de maíz, para lo cual se pesó estos componentes por separado, para luego dividirlos por el volumen que ocupaban (tabla 19).

Tabla 19  
Densidad de los componente en kg/L

Densidad de los componentes			
Estiércol equino	Estiércol ovino	Estiércol vacuno	Silo de maíz
kg/L			
0.55	0.38	0.35	0.30

Fuente: elaboración propia

Una vez obtenida la densidad de cada componente se hizo una conversión de litros (tabla 12) a kilogramos.

Tabla 20  
Conversión de componente de litros a kilogramos

Conversión de componentes de litros a kilogramos							
Componentes en litros				Componentes en kilogramos			
Estiércol equino	Estiércol ovino	Estiércol vacuno	Silo de maíz	Estiércol equino	Estiércol ovino	Estiércol vacuno	Silo de maíz
1.1	3.2	4.3	0.5	0.58	1.21	1.49	0.15
0.8	3.4	4.3	0.5	0.44	1.31	1.49	0.15
0.8	3.2	4.5	0.5	0.44	1.21	1.58	0.15
0.6	3.7	4.3	0.5	0.30	1.41	1.49	0.15
0.6	3.4	4.5	0.5	0.30	1.31	1.58	0.15
0.6	3.2	4.8	0.5	0.30	1.21	1.67	0.15
1.1	3.2	4.3	0.5	0.58	1.21	1.49	0.15
0.8	3.4	4.3	0.5	0.44	1.31	1.49	0.15
0.8	3.2	4.5	0.5	0.44	1.21	1.58	0.15

Fuente: elaboración propia.

Luego se requirió sacar el porcentaje correspondiente a cada componente que conforma la mezcla.

Tabla 21  
*Porcentaje correspondiente a cada componente*

Total de la mezcla en kilogramos	Porcentaje correspondiente a cada componente			Silo de maiz
	Estiércol equino	Estiércol ovino	Estiércol vacuno	
3.43	17	35.3	43.3	4.37
3.39	13.1	38.6	43.9	4.43
3.38	13.1	35.8	46.6	4.44
3.35	9.08	42	44.5	4.48
3.34	9.10	39.2	47.2	4.49
3.33	9.12	36.4	50	4.50
3.43	17	35.3	43.3	4.37
3.39	13.1	38.6	43.9	4.43
3.38	13.1	35.8	46.6	4.44

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se dividió cada componente entre 100

Tabla 22  
*División de cada componente entre 100*

N° de biodigestor	División de cada componente entre 100			Silo de maíz
	Estiércol de equino	Estiércol de ovino	Estiércol de vacuno	
1	0.17	0.35	0.43	0.04
2	0.13	0.39	0.44	0.04
3	0.13	0.36	0.47	0.04
4	0.09	0.42	0.44	0.04
5	0.09	0.39	0.47	0.04
6	0.09	0.36	0.50	0.05
7	0.17	0.35	0.43	0.04
8	0.13	0.39	0.44	0.04
9	0.13	0.36	0.47	0.04

Fuente: elaboración propia

Finalmente se multiplicó cada componente por la relación C/N correspondiente a cada una y luego se sumó. En la tabla 23 se puede comprobar que la concentración del biodigestor número siete es el único que supera la relación C/N por 0.19.



Tabla 23  
Relación Carbono/Nitrógeno de las mezclas

N° de biodigestor	Relación Carbono/ Nitrógeno de las mezclas				Relación C/N
	Multiplicación por su correspondiente relación C/N				
	Estiércol equino(50:1)	Estiércol ovino(35:1)	Estiércol vacuno(25:1)	Silo de maíz(80:1)	
1	8.51	12.4	10.8	3.50	35.2
2	6.55	13.5	11	3.54	34.6
3	6.57	12.5	11.7	3.55	34.3
4	4.54	14.7	11.1	3.59	33.9
5	4.55	13.7	11.8	3.59	33.7
6	4.56	12.7	12.5	3.60	33.4
7	8.51	12.4	10.8	3.50	35.2
8	6.55	13.5	11	3.54	34.6
9	6.57	12.5	11.7	3.55	34.3

Fuente: elaboración propia

- j) Los biodigestores se implementaron el día 01 de julio del 2020, previa a una pre fermentación de duración de cuatro días, para lo cual se hizo un hueco en el suelo por cada mezcla y se impermeabilizo con una base de plástico para evitar filtraciones; para dicha pre fermentación primero se puso estiércol y se fue agregando agua gradualmente hasta crear una mezcla uniforme, dicha mezcla fue removida interdiariamente.

#### 3.4.1.5. Evaluación de los biodigestores de 50 litros

##### a) Tiempo de inicio de producción:

- Se evaluó los biodigestores a partir del día 15 de haber sido implementados (15 de julio del 2020), para así saber con precisión qué día empezaba la producción de biogás, mediante una ficha evaluativa (*Anexo 1*).
- Para dicha evaluación se abrió la válvula de salida de gas del biodigestor y la válvula de la manguera, y al acercar el encendedor si esta encendía significaba que si había presencia de biogás.

##### b) Cantidad de biogás

- Para evaluar el volumen de biogás, se usó el método de desplazamiento de volumen de agua (principio de Arquímedes)
- A partir del primer día que iniciaba la producción, se alimentaron los biodigestores por 10 días para poder saber la producción total, cada valor obtenido se recolectó diariamente mediante una ficha (*Anexo 2*)
- Para dicha evaluación se llenó completamente con agua la botella graduada, y se sumergió boca abajo en una tina con agua, verificando que no haya

ninguna burbuja en la botella, luego se introdujo la manguera del biodigestor por la boquilla de la botella y posteriormente se abrió la válvula del biodigestor, así se verificó hasta donde la marca de agua descendía, siendo este el volumen de biogás.

**c) Calidad de biogás**

- Se evaluó la calidad mediante la prueba de colorimetría de la llama.
- Para lo cual se abrió la válvula del biodigestor que estaba conectada a la manguera y se prendió con un encendedor.
- Se elaboró una escala dependiendo de coloración de la llama.

*Tabla 24*

*Cuantificación de valores según colorimetría de la llama*

Cuantificación de valores según el color de la llama			
Suministro de aire	Color de la llama	Calidad	Calificación cuantitativa
No hubo producción de Biogás	No hay presencia de llama	Muy mala	1
Aire Deficiente	Llama con tendencia amarilla	Mala	2
Exceso de aire	Llama muy azul y semitransparente	Regular	3
Aire correcto	Llama celeste con leves puntas rosadas	Buena	4

Fuente elaboración propia.

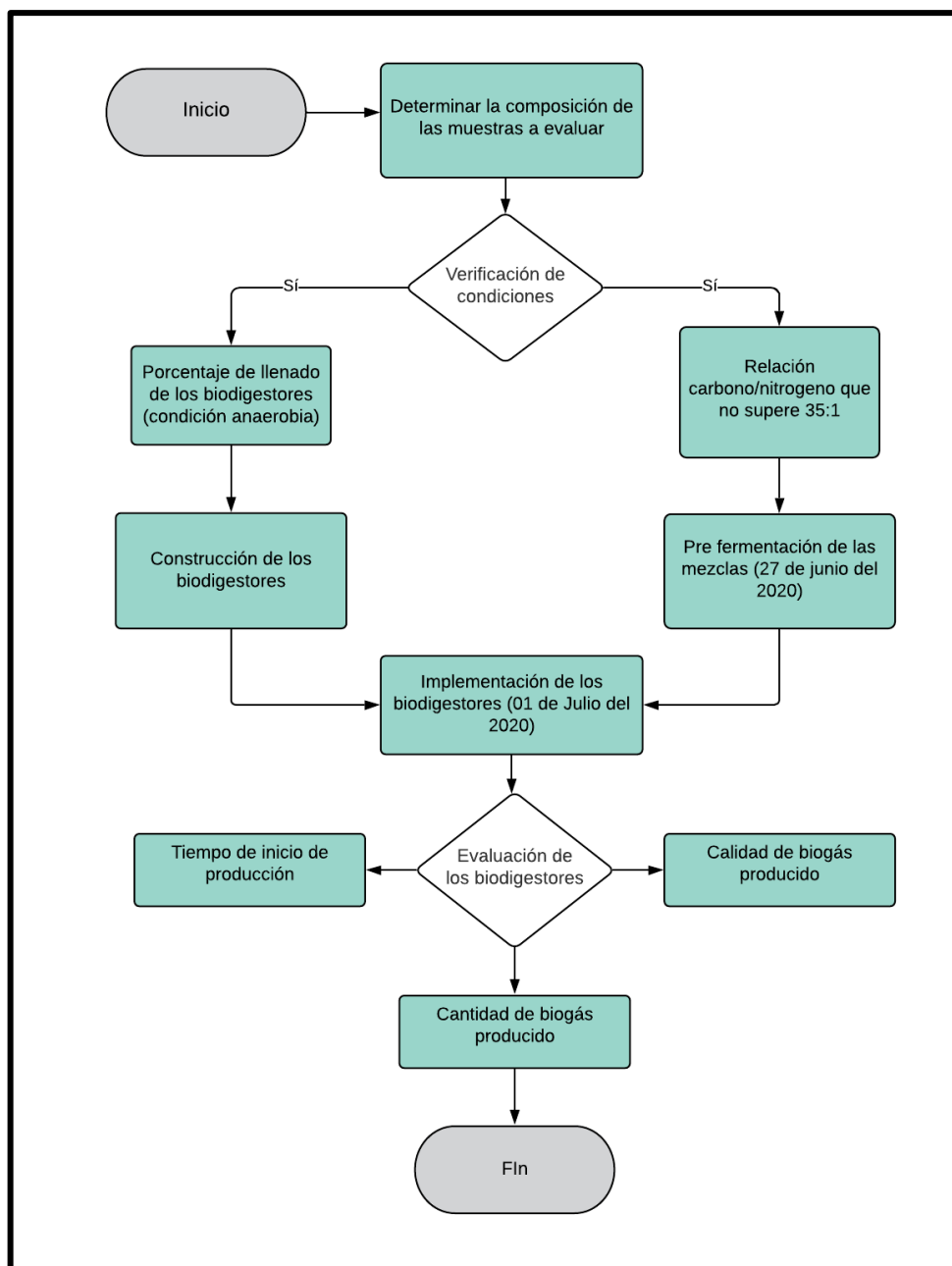


Figura 7: Diagrama de la metodología implementada

Fuente: elaboración propia

### 3.4.2. Instrumento para la recolección de datos

- Tablero de campo
- Fichas evaluativas
- Cámara fotográfica digital
- Probeta de elaboración propia
- Balanza romana
- Encendedor

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

Una vez recopilados los datos de la biodigestión de cada biodigestor en las fichas de evaluación, los datos obtenidos se procesaron en el software Statgraphic y Microsoft Excel 2016, para poder sacar los cálculos y datos necesarios, se aplicó la prueba de hipótesis.

### 3.6. Costos de la investigación

Tabla 25  
*Costos de la investigación*

Costos de la investigación				
Biodigestores de 20 L		Material	Costo unitario	Costo total
Cantidad				
27	Bidón de 20 L		25	675
54	Rosca de ½ in		2	108
54	Goma de seguridad		2	108
54	Llave de ½ in		5	270
54	Abrazaderas		3	162
27	1 m de manguera plástica de ½ in		2	54
27	Cinta teflón de ½ in		1.50	40.5
Biodigestores de 50 L				
9	Bidón de 50 L		70	630
18	Rosca de 2 in		10	180
9	Tapón de 2 in		15	135
18	Goma de seguridad		10	180
9	Llave de 2 in		30	270
9	Llave de ½ in		25	225
18	Abrazaderas		3	54
9	Tuerca y contratuerca		20	180
9	2 m de manguera plástica de ½ in		4	36
Otros recursos				
1	Mano de obra		100	100
1	Transporte		300	300
1	Broca circular		300	300
1	Otros		150	150
Total				4157.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26  
*Cuadro resumen de los costos de investigación*

Costos de la investigación		
Ítem	Coste unitario	Coste total
Coste de los biodigestores de 20 L	40.50	1417.50
Coste de los biodigestores de 50 L	187	1890
Coste de otros recursos	850	850
Total	1077.5	4157.5

Fuente: Elaboración propia

### CAPÍTULO IV: RESULTADOS

De los valores obtenidos de la evaluación de los biodigestores en la zona ganadera de Sama Inclán, se permite determinar lo siguiente:

#### 4.1. Producción de biogás de bidones de 20 L

No se registró presencia de biogás en ninguno de los 27 biodigestores.

#### 4.2. Tiempo de inicio de producción de biogás

En la tabla 27 se muestra el tiempo de inicio de producción de biogás por biodigestor. Los resultados varían entre 21 a 31 días, siendo que el biodigestor N° 06 es el que menos tiempo demoró en producir biogás (21 días); mientras que el biodigestor N° 07, es el que más tiempo demoró en producir biogás (31 días)

Tabla 27

Tiempo de inicio de producción del biogás por biodigestor

N° de biodigestor	Tiempo de inicio de producción días
1	30
2	29
3	28
4	24
5	23
6	21
7	31
8	30
9	28

Fuente: elaboración propia

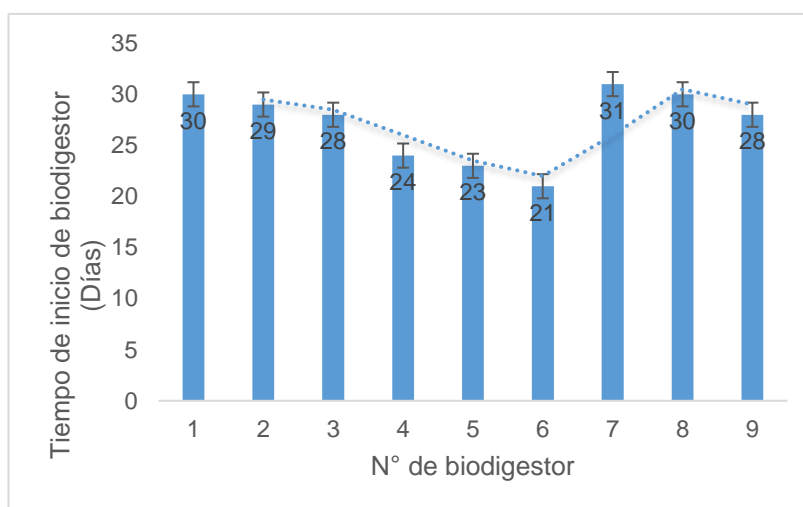
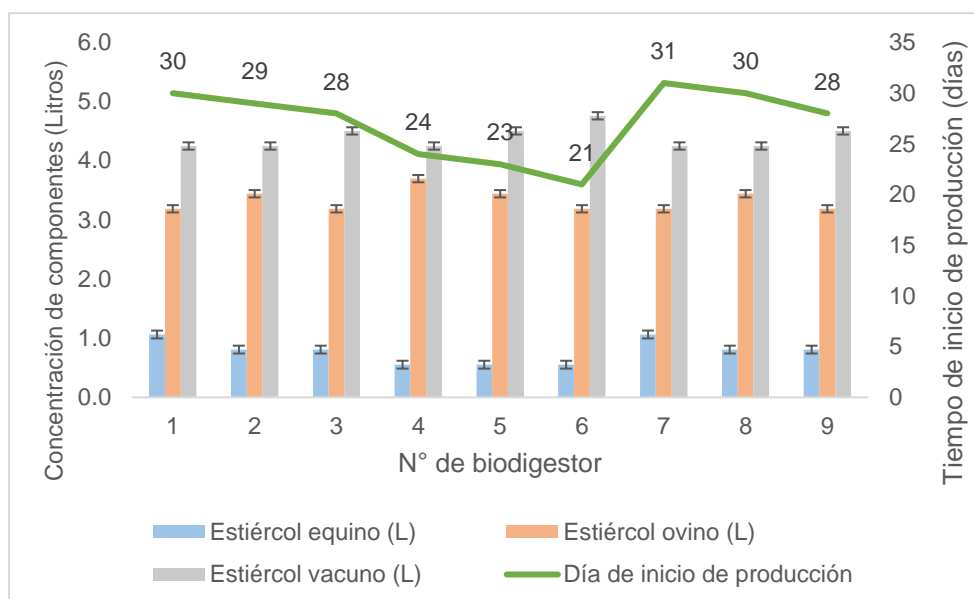


Figura 8: Tiempo de inicio de producción por biodigestor.

Fuente: elaboración propia



**Figura 9:** Tiempo de inicio de producción de biogás y concentraciones de componentes del biodigestor

Fuente: elaboración propia

En la *figura 9* se puede apreciar que el biodigestor Nº 06, el cual es el que contiene menos estiércol de equino (0.6 L) y más estiércol vacuno (4.8 L) fue el que produjo biogás más rápido (21 días), a comparación del biodigestor Nº 07 que, fue el que tardó más tiempo en producir biogás (31 días), el cual era uno de los que tenían más concentración de estiércol equino (1.1 L)

### 4.3. Cantidad de biogás producido

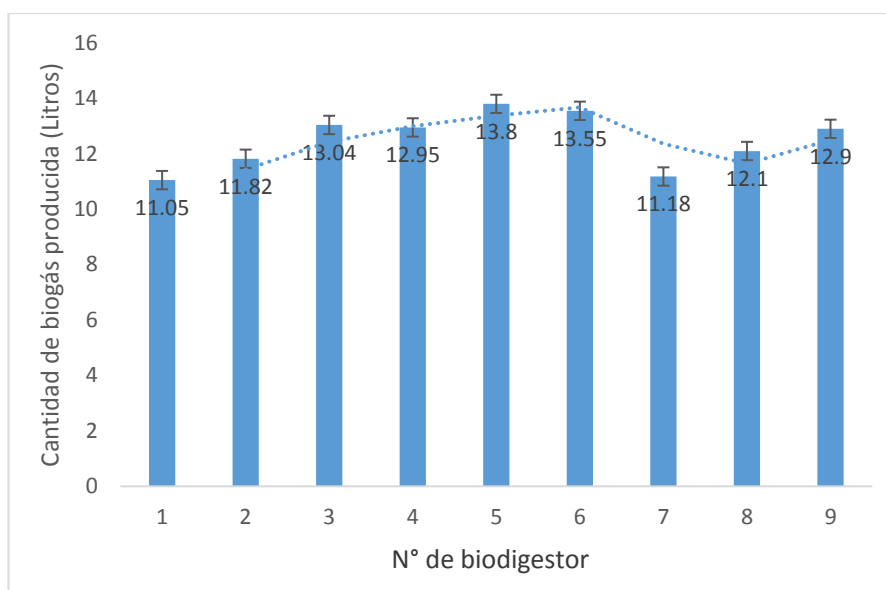
En la tabla 28 se muestra la cantidad total producida de biogás por biodigestor en 10 días. Los resultados oscilan entre 13.8 a 11.05 L, siendo que el biodigestor Nº05 es el que más biogás produjo (13.8 L); mientras que el biodigestor Nº 01, es el que más tiempo demoró en producir biogás (11.05 L)

Tabla 28:

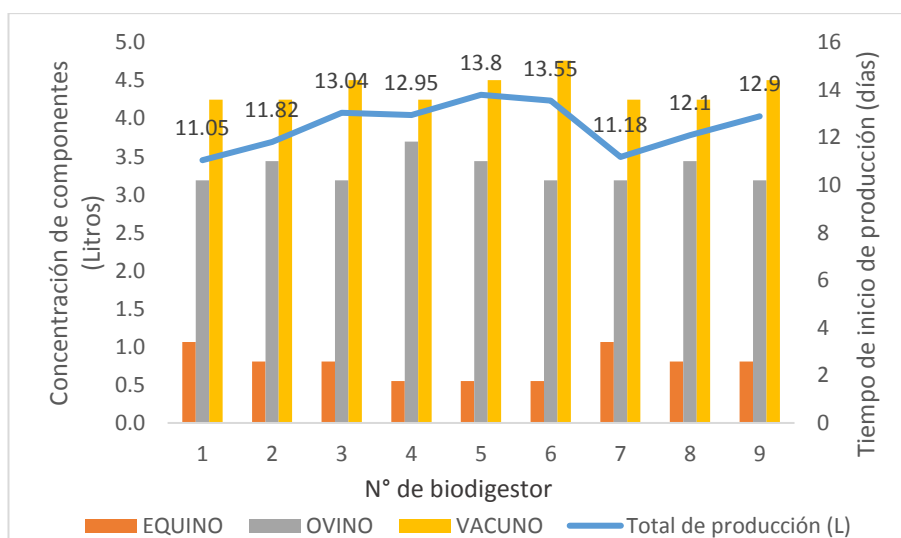
*Producción total de biogás por biodigestor*

Nº biodigestor	Producción total del biogás	
	de	Total de producción Litros
1		11.05
2		11.82
3		13.04
4		12.95
5		13.8
6		13.55
7		11.18
8		12.1
9		12.9

Fuente: elaboración propia



**Figura 10:** Cantidad de biogás producido por biodigestor  
Fuente: elaboración propia



**Figura 11:** Cantidad de biogás producido y concentraciones de componentes del biodigestor  
Fuente: elaboración propia

En la *figura 11* se puede apreciar que el biodigestor N° 05, el cual es el que contiene menos estiércol de equino (0.6 L) y cantidad regular de estiércol vacuno (4.3 L) fue el que produjo mayor cantidad de biogás (13.8 L), a comparación del biodigestor N° 1 que, fue el que menos produjo (11.05 L), el cual era uno de los que tenían más concentración de estiércol equino (1.1 L).

#### 4.4. Calidad de biogás

En la tabla 29 se muestra calidad del biogás producido por biodigestor. Los resultados oscilan entre cuatro (buena calidad) y dos (mala calidad), siendo que tres biodigestores (N° 01, N° 03, N° 7 y N° 09) generaron biogás de mala calidad, por otro

lado, otros tres biodigestores (N° 4, N° 5 y N° 8) generaron biogás de buena calidad, mientras que los biodigestores (N° 2 y N° 6) generaron biogás de regular calidad.

Tabla 29  
Calidad del biogás por biodigestor por calificación colorimétrica

Calidad de biogás (calificación colorimétrica)		
N° de biodigestor	Calificación cuantitativa	Calificación cualitativa
1	2	Mala
2	3	Regular
3	2	Mala
4	4	Buena
5	4	Buena
6	3	Regular
7	2	Mala
8	4	Buena
9	2	Mala

Fuente propia

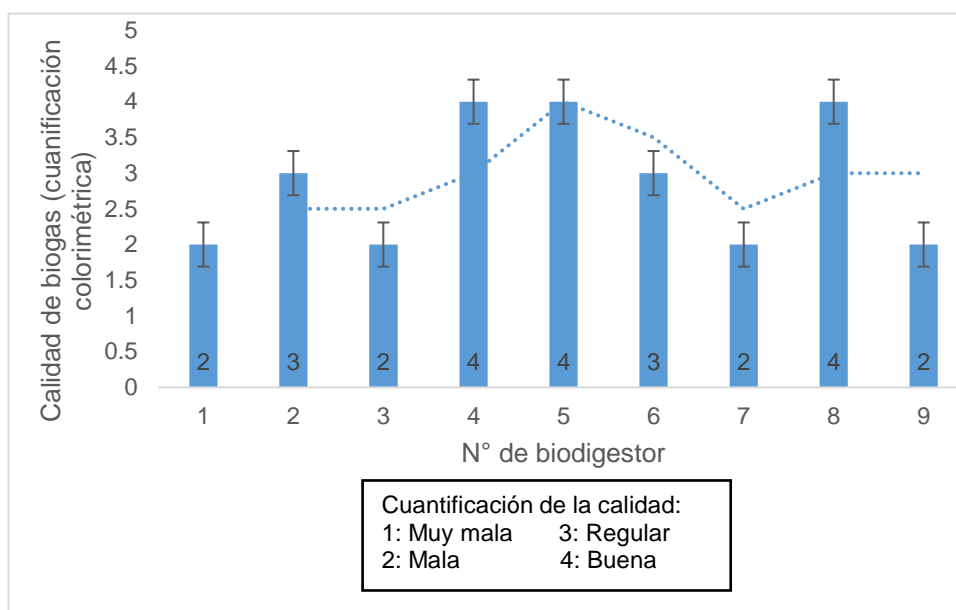
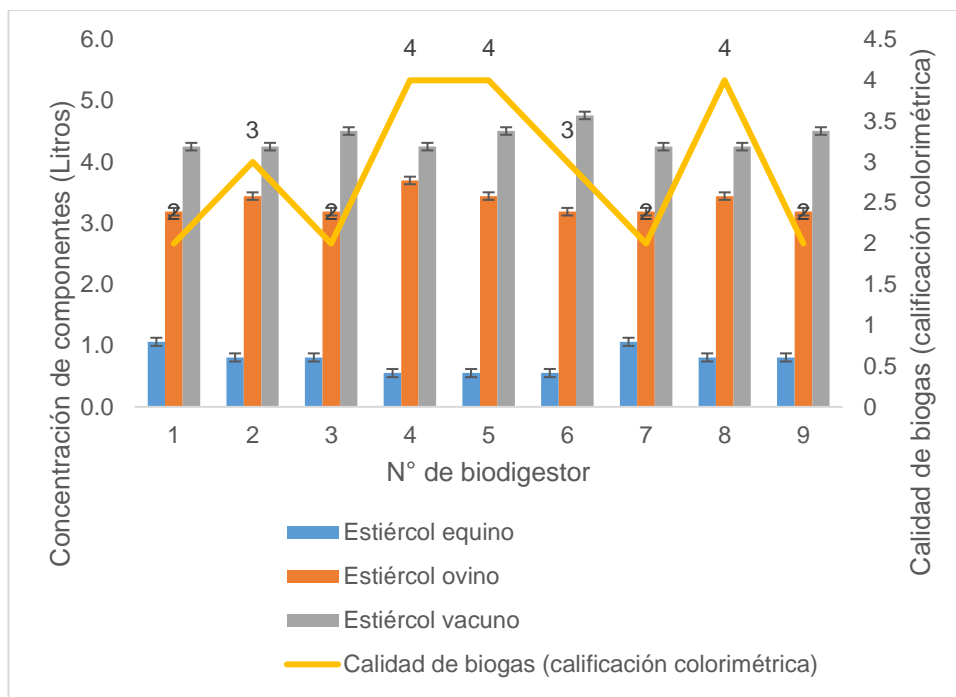


Figura 12: Calidad de biogás producida por biodigestor  
Fuente: elaboración propia





*Figura 13:* Calidad del biogás y concentraciones de componentes del biodigestor  
Fuente: elaboración propia

#### 4.5. Prueba de hipótesis

##### 4.5.1. Hipótesis general

$H_0$ : Hipótesis nula

No es posible obtener biogás utilizando una mezcla de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno mayor a 10 L en 10 días de producción en la zona de Sama Inclán.

$H_1$ : Hipótesis alternativa

Es posible obtener biogás utilizando una mezcla de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno mayor a 10 L en 10 días de producción en la zona de Sama Inclán.

Tamaño de muestra = 9

Media muestral = 12.5

Desviación estándar muestral = 1

Hipótesis Nula: diferencia entre medias = 10

Alternativa: mayor que 10

Estadístico t calculado = 7.47

Valor-P <.001.

Rechazar la hipótesis nula para alfa = .05

$H_0$ :  $\mu = 10$

$H_1$ :  $\mu > 10$

Se rechaza la hipótesis nula con un 95.0% de nivel de confianza. Los valores de  $\mu$  soportados por los datos son mayores o iguales que 11.9

#### 4.5.2. Hipótesis específicas

##### a) Efecto del tipo de estiércol en la producción de biogás

$H_2$ : El estiércol de ganado ovino es el que tiene mayor efecto en la producción de biogás.

No se evidencio presencia de biogás, por lo cual se determina que no hay efecto directo significativo del tipo de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino en la producción de biogás.

##### b) Tiempo de inicio de producción

$H_3$ : Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para mejorar el tiempo de inicio de la producción de biogás.

*Tabla 30*

*Resumen estadístico para tiempo de inicio de producción*

Resumen estadístico para el tiempo de inicio de producción	
Recuento	9
Promedio	27.1
Desviación Estándar	3.55
Coefficiente de Variación	13.1 %
Mínimo	21
Máximo	31
Rango	10
Sesgo Estandarizado	-0.935
Curtosis Estandarizada	-0.576

Fuente: elaboración propia

El valor del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango para datos provenientes de una distribución normal.

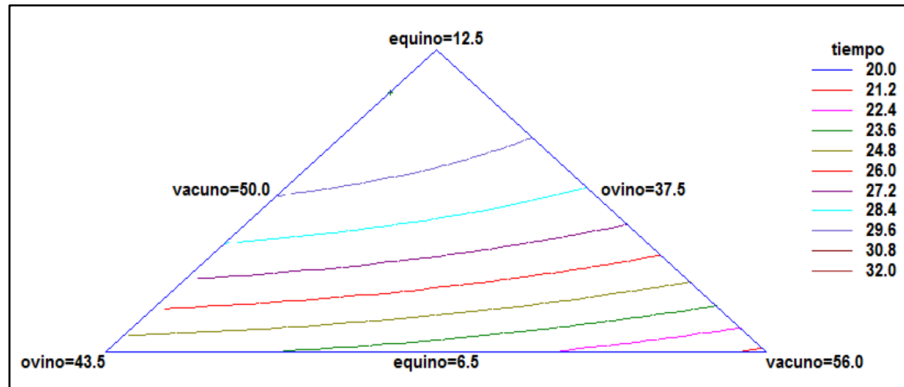


Figura 14: Contorno de la superficie respuesta estimada para el tiempo de inicio de producción de biogás

Fuente: elaboración propia

En la figura 14 se puede observar que los valores más altos para el tiempo de inicio de producción (32 días) se encuentran relacionados para la concentración más alta de estiércol equino (12.5 %), por otro lado, los valores más bajos para el tiempo de producción (21 días) están relacionados con los valores más altos de estiércol vacuno (56 %), mientras que los valores medios para el tiempo de producción (24 días) se encuentran relacionados con los valores más altos de estiércol ovino (43.5 %).

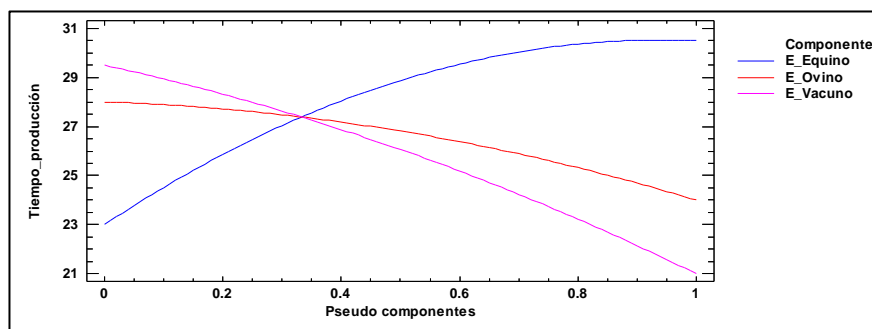


Figura 15: Gráfica de trazas para el tiempo de inicio de producción de biogás

Fuente: elaboración propia

La figura 15 nos muestra la importancia de cada componente en el tiempo de inicio de producción de biogás, se puede observar que a medida que la concentración del estiércol equino aumenta o disminuye el tiempo de producción actúa de forma directamente proporcional, mientras que con la concentración de estiércol vacuno según este aumente o disminuya el tiempo de concentración actúa de forma inversamente proporcional, al igual que ocurre con el estiércol ovino.

Tabla 31  
Optimización del tiempo de inicio de producción del biogás

Optimización del tiempo de producción			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Estiércol Equino	6.5	12.5	6.5
Estiércol Ovino	37.5	43.5	37.5
Estiércol Vacuno	50.0	56.0	56.0

Fuente: elaboración propia

Meta: mantener tiempo en 21 días

Valor óptimo = 21

- **Contrastación de hipótesis**

Valor-P: .043

Rechazar la hipótesis nula para alfa = .05

Se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Tabla 32  
Efectos estimados del modelo completo para el tiempo de inicio de producción de biogás

Efectos estimados del modelo completo para el tiempo de producción					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	6615	1	6615		
Lineal	89.5	2	44.7	23.5	0.001
Cuadrático	10.4	3	3.47	10.41	0.043
Error	1	3	0.333		
Total	6716	9			

Fuente: elaboración propia

Tabla 33  
Resultados del modelo completo para el tiempo de inicio de producción de biogás

Resultados del modelo completo para el tiempo de producción			
Modelo	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	1.38	88.7	84.9
Cuadrático	0.577	99	97.4

Fuente: elaboración propia

La tabla 33 nos indica que el modelo cuadrático es el modelo a escoger, por tener el error estándar más pequeño (0.577) y el R-Cuadrado ajustado más alto (97.4)

Ecuación del modelo cuadrático ajustado para el tiempo de inicio de producción de biogás =  $30.5 \cdot X + 24.0 \cdot Y + 21.0 \cdot Z + 9.0 \cdot X \cdot Y + 9.0 \cdot X \cdot Z + 2.0 \cdot Y \cdot Z$

Donde:

X= Estiércol equino

Y= Estiércol ovino

Z= Estiércol vacuno

**c) Cantidad de biogás**

H<sub>4</sub>: Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir mayor cantidad de biogás.

Tabla 34

Resumen estadístico para cantidad de producción de biogás

Resumen estadístico para la cantidad de producción	
Recuento	9
Promedio	12.5
Desviación Estándar	0.99
Coefficiente de Variación	7.96 %
Mínimo	11.1
Máximo	13.8
Rango	2.75
Sesgo Estandarizado	-0.354
Curtosis Estandarizada	-0.817

Fuente: elaboración propia

El valor del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango para datos provenientes de una distribución normal.

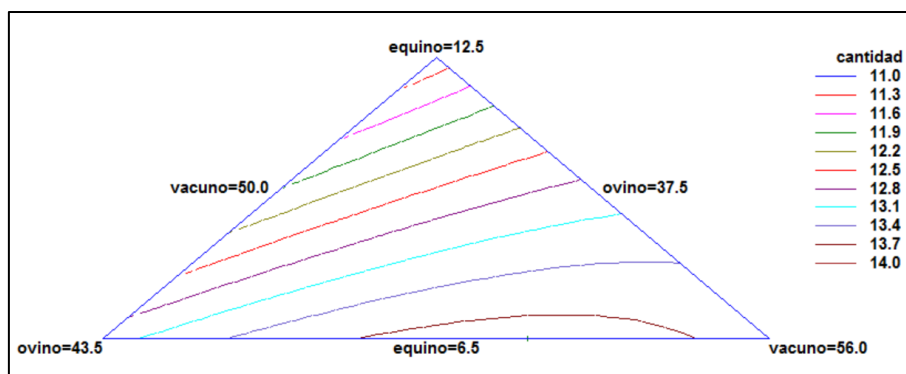


Figura 16: Contorno de la superficie respuesta estimada para cantidad de biogás producido

Fuente: elaboración propia

La figura 16 nos muestra que nuestros valores más altos (14 L) están relacionados a las concentraciones más altas de los estiércoles ovinos y vacunos (43.5 % y 56 % respectivamente), mientras que los valores más bajos producidos (11 L) están relacionados con los valores más altos de estiércol equino (12.5 %)

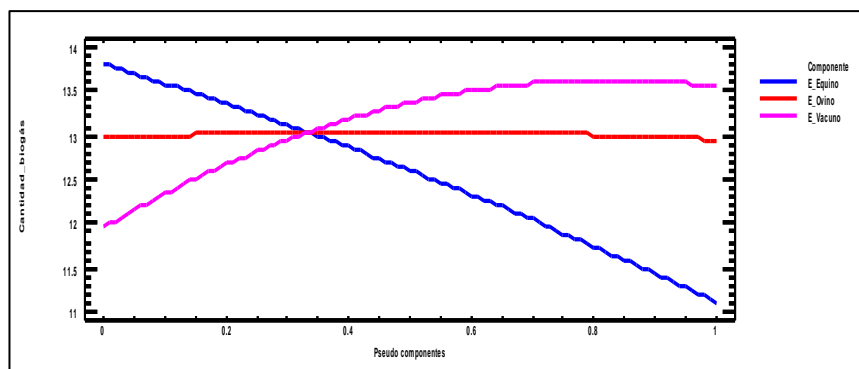


Figura 17: Gráfica de traza para la cantidad de biogás producido

Fuente: elaboración propia.

La figura 17 nos muestra la importancia de cada componente en la cantidad de biogás producido, tal como se observa a medida que el estiércol vacuno aumenta su concentración, la cantidad de biogás aumenta de forma directamente proporcional, mientras tanto el estiércol equino a medida que se disminuye su concentración este aumenta su producción de forma inversamente proporcional, por otro lado, el estiércol ovino se mantiene de forma lineal.

Tabla 35  
Optimización de la cantidad de biogás producido

Optimización de la cantidad de biogás producido			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Estiércol Equino	6.5	12.5	6.5
Estiércol Ovino	37.5	43.5	39.7
Estiércol Vacuno	50	56	53.8

Fuente: elaboración propia

Meta: maximizar la cantidad de biogás producido

Valor óptimo = 13.8

- **Contrastación de hipótesis**

Valor-P: .041

Rechazar la hipótesis nula para alfa = .05

Se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Tabla 36  
*Efectos estimados del modelo completo para cantidad de biogás producido*

Efectos estimados del modelo completo para cantidad de biogás					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	1404	1	1404		
Lineal	7.24	2	3.62	32.2	0.0006
Cuadrático	0.617	3	0.206	10.7	0.041
Error	0.057	3	0.019		
Total	1411	9			

Fuente: elaboración propia

Tabla 37  
*Resultados del modelo completo para la cantidad de biogás producido*

Resultados del modelo completo			
Modelo	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	0.335	91.5	88.6
Cuadrático	0.14	99.3	98.1

Fuente: elaboración propia

La tabla 37 nos indica que el modelo cuadrático es el modelo a escoger, por tener el error estándar más pequeño (0.14) y R-Cuadrado ajustado más alto (98.1).

Ecuación del modelo cuadrático ajustado para la cantidad de biogás producido =  $11.15 \cdot X + 12.95 \cdot Y + 13.55 \cdot Z - 0.29 \cdot X \cdot Y + 2.55 \cdot X \cdot Z + 2.2 \cdot Y \cdot Z$

Donde:

X= Estiércol equino

Y= Estiércol ovino

Z= Estiércol vacuno

#### d) Calidad de biogás

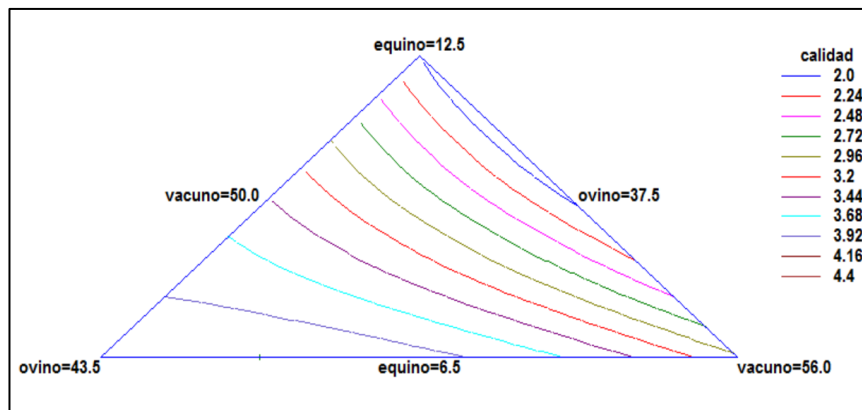
H<sub>5</sub>: Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir biogás de mejor calidad.

Tabla 38  
*Resumen estadístico para la calidad de biogás producido*

Resumen estadístico para la calidad de biogás	
Recuento	9
Promedio	2.89
Desviación Estándar	0.93
Coefficiente de Variación	32.1 %
Mínimo	2
Máximo	4
Rango	2
Sesgo Estandarizado	0.32
Curtosis Estandarizada	-1.24

Fuente: elaboración propia

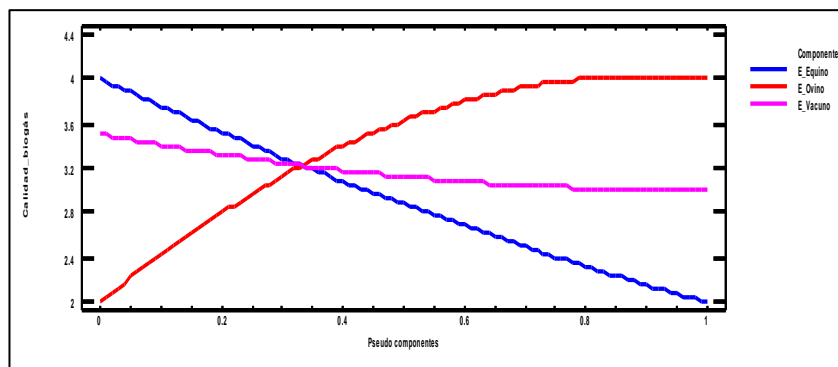
El valor del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango para datos provenientes de una distribución normal.



**Figura 18:** Contorno de la superficie respuesta estimada para la calidad de biogás producido

Fuente: elaboración propia

En la *figura 18* se puede estimar que el valor más alto (cuatro = biogás de buena calidad) están relacionados con las concentraciones más altas del estiércol ovino (43.5 %), por otro lado, los valores medios (tres = biogás de regular calidad) están relacionados con los valores más altos del estiércol vacuno (56 %), mientras que los valores más bajos (dos = biogás de mala calidad) están relacionados con los valores más altos del estiércol de equino (12.5 %) y más bajos de estiércol ovino (37.5 %)



**Figura 19:** Gráfica de trazas para la calidad de biogás producido

Fuente: elaboración propia

La *figura 19* nos muestra la importancia de cada componente en la calidad de biogás producido, como se puede observar a medida que el estiércol ovino aumenta su concentración, la calidad de biogás aumenta de forma directamente proporcional, mientras tanto el estiércol equino a medida que se disminuye su concentración este aumenta su calidad de forma inversamente proporcional, por otro



lado, el estiércol vacuno se mantiene ligeramente lineal, pero hay incidencia de que si se baja un poco su concentración la calidad del biogás disminuye.

Tabla 39  
*Optimización de la calidad del biogás producido*

Factor	Optimización de la calidad de biogás		
	Bajo	Alto	Óptimo
Estiércol Equino	6.5	12.5	6.5
Estiércol Ovino	37.5	43.5	42
Estiércol Vacuno	50	56	51.5

Fuente: elaboración propia

Meta: maximizar la calidad de biogás producido

Valor óptimo = 4

- **Contratación de hipótesis**

En el modelo cuadrático:

Valor-P: .337

Aceptar la hipótesis nula para alfa = .05

Se acepta la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza

En el modelo lineal:

Valor-P: .008

Rechazar la hipótesis nula para alfa=.05

Se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Tabla 40  
*Efectos estimados del modelo completo para la calidad de biogás producido*

Efectos estimados del modelo completo para la calidad de biogás					
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	75.1	1	75.1		
Lineal	5.54	2	2.77	12.3	0.008
Cuadrático	0.848	3	0.283	1.7	0.34
Error	0.5	3	0.167		
Total	82	9			

Fuente: elaboración propia

Tabla 41  
Resultados del modelo completo para la calidad de biogás producido

Modelo	Resultados del modelo completo		
	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	0.47	80.4	73.9
Cuadrático	0.41	92.7	80.7

Fuente: elaboración propia

La tabla 41 nos indica que el modelo cuadrático es el modelo a escoger, por tener el error estándar más pequeño (0.41) y el R-Cuadrado ajustado más alto (80.7)

Ecuación del modelo cuadrático ajustado para la calidad de biogás =  $2.0 \cdot X + 4.0 \cdot Y + 3.0 \cdot Z + 2.0 \cdot X \cdot Y - 2.0 \cdot X \cdot Z + 2.0 \cdot Y \cdot Z$

Donde:

X= Estiércol equino

Y= Estiércol ovino

Z= Estiércol vacuno

#### 4.6. Propuesta de diseño de biodigestor

Como propuesta para implementar un biodigestor en la zona ganadera de Sama Inlán, que sea capaz de abastecer a una familia, se plantea el siguiente diseño, el cual tiene modificaciones del diseño propuesto por (Apolo, 2015)

El coste de los materiales para poder implementar un biodigestor de 600 litros es de 2118.50 soles

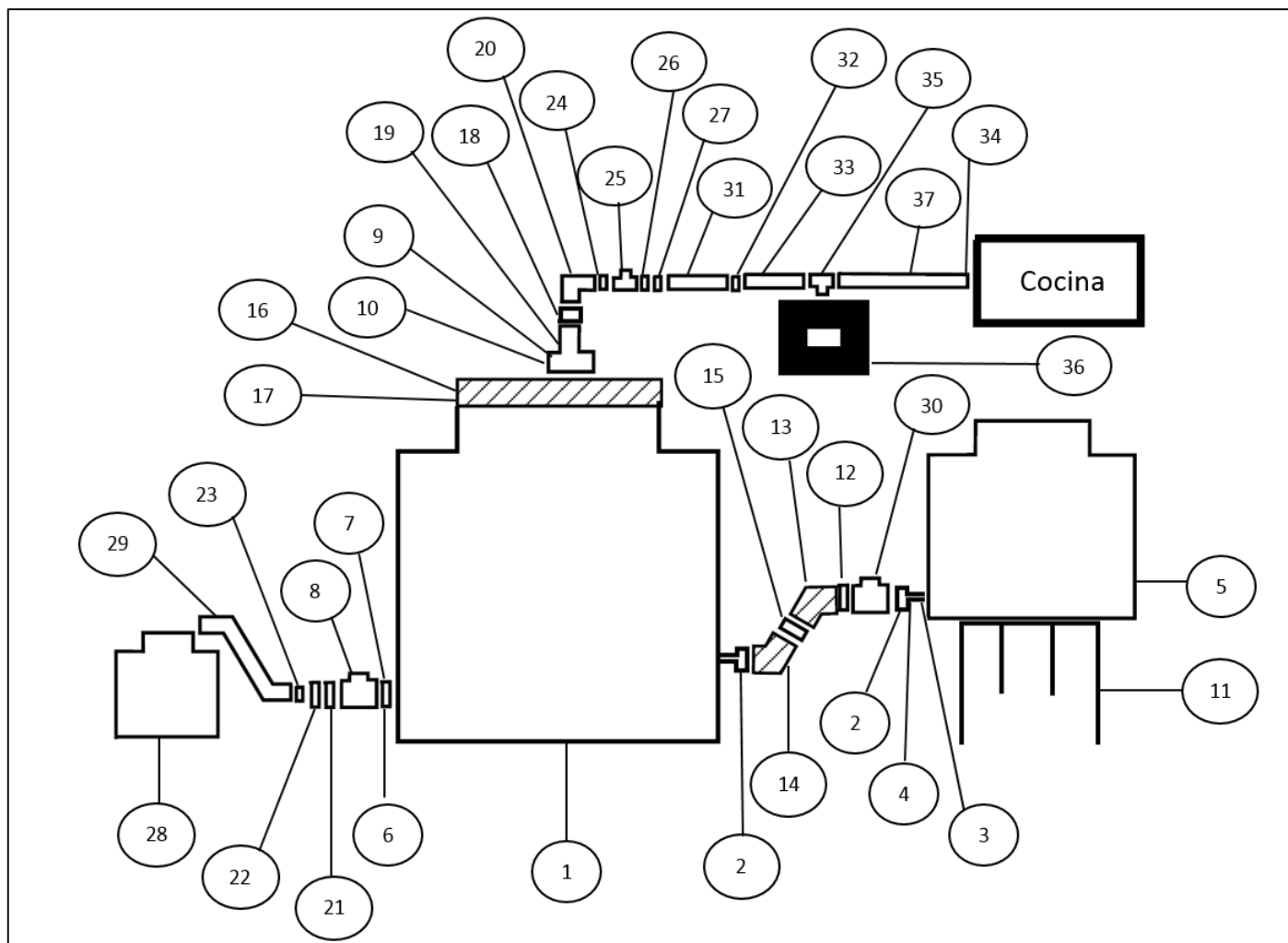


Figura 20: Propuesta de diseño de biodigestor para abastecer a una familia en la zona ganadera de Sama Inclán  
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 42

*Lista de materiales para implementar el biodigestor y sus precios*

Lista de materiales del biodigestor y sus precios		
Item	Materiales	Precio
1	Biodigestor de 600 L	1140.00
2	Adaptador tanque 2"	30.00
3	Caucho adaptador 2"	5.00
4	Caucho extra 2"	5.00
5	Tanque Premezcla 250L	210.00
6	Adaptador tanque 1"	22.00
7	Caucho adaptador 1"	2.00
8	Válvula de bola compacta 1"	15.00
9	Adaptador tanque 1/2"	20.00
10	Caucho adaptador 1/2"	5.00
11	Soporte de tanque	400.00
12	Neplo con tuerca 2"	2.00
13	Codo HH 45°2"	2.00
14	Codo HH 45°2"	2.00
15	Neplo 10 cm 2"	2.00
16	Tapa Biodigestor	0.00
17	Empaque tapa biodigestor	0.00
18	Unión Universal 1/2"	3.00
19	Neplo con tuerca 1/2"	2.00
20	Codo 1/2" 90°	8.00
21	Neplo con tuerca 1"	2.00
22	Unión Universal 1"	7.00
23	Neplo Flex 1"	5.00
24	Neplo 6cm 1/2"	4.00
25	Válvula de bola compacta 1/2"	7.00
26	Neplo 15cm 1/2"	8.00
27	Reductor macho 1/2" x 1/4"	11.00
28	Tanque Biol	40.00
29	Tubo Flex 1"	10.00
30	Válvula compacta con universal 2"	20.00
31	Manguera gas 5/16"(2)	6.00
32	Válvula Check gas	50.00
33	Manguera gas 5/16"(3)	6.00
34	Terminal 5/16" x 1/8"NPT	8.50
35	Tee HHH 1/8"	3.00
36	Almacenamiento biogás	50.00
37	Manguera gas 5/16"(4)	6.00
	Total	2118.50

Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Según nuestro objetivo se logró producir biogás utilizando estiércol de ganado vacuno, ovino y equino en silo de maíz en la zona de Sama Inclán; para lo cual se evaluó el tiempo de inicio de producción, la cantidad producida y la calidad del biogás de los diferentes tratamientos.

### a) Efecto del estiércol en la producción de biogás

Con los 27 biodigestores de 20 litros no se registró producción de biogás, dado que el diseño que se estaba utilizando no era el apropiado, y que previamente no se realizó un análisis para determinar si cumplía con no sobrepasar la relación C/N en 35:1; al igual que el llenado de los biodigestores no era el adecuado para crear la condición anaerobia necesaria para este proceso, no habiendo efecto directo del estiércol.

### b) Tiempo de inicio de producción

De acuerdo a los resultados obtenidos durante nuestra investigación el tiempo de inicio de producción variaron entre 21 a 31 días y se pudo determinar que la mezcla óptima para disminuir el tiempo de inicio de producción de biogás en la zona de Sama Inclán es de 6.5 % de estiércol equino, 37.5 % de estiércol ovino y 56 % de estiércol vacuno; siendo que las concentraciones de equino y ovino son los valores mínimos y de equino el valor más alto.

Todos nuestros biodigestores demoraron más de 20 días en producir biogás esto se puede deber a que a menor sea la temperatura se va a requerir un tiempo mayor para la producción tal como lo indica (Huere et al., 2015), (Barren et al., 2017) y (Auris & Morales, 2019), en nuestro caso los cambios de temperatura variaron de 7 a 23° C, tal como se evidencia en el *Anexo 3*, y al ser un cambio brusco hace que el tiempo de producción sea mayor al estimado, ya que las bacterias metanogénicas se ven perjudicadas en su crecimiento y este es un factor fundamental para minimizar el tiempo de producción.

Por otra parte los biodigestores N° 01 y N° 07 fueron los que tenían la relación C/N más alta (35.2:1), y fueron los que más tiempo se demoraron en producir biogás siendo 30 y 31 días respectivamente, a diferencia del biodigestor N° 06 del cual es el que en menos tiempo produce biogás (21 días), siendo su relación C/N la más baja de todas las mezclas (33.4:1), cumpliendo así lo que sugieren (Olaya Arboleda & González Salcedo, 2009) y el manual de biogás de la FAO de (Varnero, 2011), el cual dice que el valor mientras sea superior a 35:1, la descomposición será más lenta

porque la multiplicación y desarrollo de bacterias será bajo, por la falta de nitrógeno, también es importante señalar que los biodigestores N° 01 y N° 07 fueron de los que tenían los valores máximos de estiércol equino (12.5 %), y de estiércol ovino y vacuno las mínimas (37.5 % y 50 % respectivamente), y el biodigestor 6 era el que tenía el valor mínimo de estiércol equino y ovino (6.5 % y 37.5 % respectivamente), y el valor más alto estiércol vacuno (56 %), esto se puede dar por la presencia de sólidos totales disueltos en las excretas, ya que los equinos y ovinos tienen mayor porcentaje de estos y por lo tanto requerirían de un tiempo de pre fermentación mayor al que se sometió (4 días).

### **c) Cantidad de biogás**

En la evaluación de la cantidad de biogás los valores oscilaron entre 13.8 a 11.05 litros en 10 días de producción, y se pudo determinar la mezcla óptima para maximizar la cantidad de biogás siendo de estiércol equino (6.5 %), estiércol ovino (39.7 %) y estiércol vacuno (53.8 %); el estiércol equino al ser su óptimo el valor mínimo de la experimentación puede ser indicador que su valor óptimo sea aún una concentración menor.

El biodigestor N° 05 es el que más cantidad de biogás produjo (13.8 L) y el biodigestor N° 01 el que menos biogás produjo (11.1 L), siendo la diferencia por más de 2 L, como se puede observar en el biodigestor N° 01 el valor del estiércol equino era el máximo (12.5 %) y del estiércol vacuno el valor mínimo (50 %), por otro lado el biodigestor N° 06 el valor del estiércol vacuno fue el máximo (56 %), mientras que la de equino el valor mínimo (6.5 %), en ambos biodigestores el estiércol ovino se mantiene con el valor mínimo (37.5 %); estos resultados se pueden dar por la alimentación de los animales, según lo expuesto por (Carmona, 2005) y (Ramos, 2019) esto se cumple, ya que el sistema de pastoreo de los equinos y ovinos es de forma continua y por ende tienen una baja disponibilidad de forraje, mientras que el sistema de pastoreo de los vacunos es de forma rotacional y por ende la disponibilidad de forraje es alta.

### **d) Calidad de biogás**

Para los resultados obtenidos de la calidad de biogás variaron entre cuatro (Buena calidad) y dos (Mala calidad) de la cuantificación, siendo que cuatro biodigestores (N° 01, N° 03, N° 07 y N° 09) generaron biogás de mala calidad, por otro lado, otros tres biodigestores (N° 04, N° 05 y N° 08) generaron biogás de buena

calidad, mientras los biodigestores (N° 02 y N° 06) generaron biogás de regular calidad.

Se determinó la mezcla óptima para mejorar la calidad del biogás producido en la zona Sama Inclán, siendo los valores de estiércol equino (6.5 %), de estiércol ovino (42 %) y estiércol vacuno (51.5 %), al igual que para la cantidad, no se logra determinar totalmente si el valor del equino es (6.5 %) ya que era su valor mínimo de la experimentación.

La mala calidad del biogás, se puede dar porque los sólidos totales superaban el 17 % tal como lo indica (Paucar, 2015), aunque puede que también haya sido influenciada por la temperatura anaerobia al ser esta incorrecta, y por eso se produjo un exceso de aire tal como lo indica la llama de los biodigestores N° 02 y N° 06, o en el caso de los biodigestores N° 01, N° 03, N° 07 y N° 09 que según la coloración de la llama indica que hubo más presencia de dióxido de carbono que metano; estos factores también hacen que el proceso de biodigestión sea más lento.

#### **e) Propuesta de diseño de biodigestor**

La propuesta de diseño utiliza materiales de fácil accesibilidad en el mercado peruano, pudiéndose abaratar costos si se compran de un solo proveedor. Esta propuesta brinda un beneficio local, ya que se puede cubrir el consumo diario de electricidad de una vivienda familiar.

El diseño propuesto implementa un almacenamiento de biogás, así como un tanque de premezcla, con la finalidad de facilitar y simplificar el trabajo para su buen funcionamiento.

## CONCLUSIONES

1. Es posible la producción de biogás con estiércol de ganado equino, ovino y vacuno con silo de maíz en la zona de Sama Inclán, y es factible su construcción con materiales de bajo presupuesto.
2. No se logra determinar el efecto de los tipos de estiércol ovino, vacuno o equino para la producción de biogás en la zona ganadera de Sama Inclán.
3. La mezcla óptima para disminuir el tiempo de inicio de producción de biogás en la zona de Sama Inclán es de 6.5 % de estiércol equino, 37.5 % de estiércol ovino y 56 % de estiércol vacuno
4. La mezcla idónea para maximizar la cantidad de producción de biogás en la zona de Sama Inclán es de estiércol equino (6.5 %), estiércol ovino (39.7 %) y estiércol vacuno (53.8 %)
5. La mezcla óptima para mejorar la calidad del biogás producido en la zona Sama Inclán, tendría valores de estiércol equino (6.5 %), de estiércol ovino (42 %) y estiércol vacuno (51.5 %)



## RECOMENDACIONES

1. Impermeabilizar bien los biodigestores y verificar antes de la implementación de estos, para así evitar fugas.
2. Si se desea determinar el efecto de algún tipo de estiércol es necesario considerar la utilización de parámetros tales como la relación C/N.
3. Verificar que la relación C/N no supere la relación 35:1, acondicionar los biodigestores para evitar los cambios bruscos de temperatura y ampliar el proceso de prefermentación por más de 4 días.
4. Se recomienda que los animales tengan un sistema de pastoreo rotacional para aumentar la cantidad de producción de biogás, y realizar pruebas poniendo como valor máximo del estiércol equino (6.5 %) para determinar su verdadero valor óptimo.
5. Se recomienda para estudios posteriores controlar la presencia de sólidos totales (17 %) y utilizar un termómetro para medir la temperatura dentro del biodigestor, y así saber con exactitud si la temperatura es la adecuada y poder determinar si existe presencia de bacterias metanogénicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, P., & Hito, K. (2017). Evaluación experimental del tratamiento anaeróbico y plan de manejo ambiental de residuos sólidos generados en el mercado mayorista metropolitano Río Seco-Cerro Colorado Arequipa [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Amusquivar, C. (2015). Evaluación de la producción de biogás, bioabono y biol en un Biodigestor Chino Mejorado, en zonas andinas [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Apolo, A. (2015) Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo [Tesis de pregrado] Universidad San Francisco de Quito, Quito
- Auris, R. I., & Morales De La Cruz, F. K. (2019). 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 [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Barren G, M., Olivares M, V., Taramona R, L., & Chauca R, N. (2017). Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogas. Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, volumen (4), pp. 15-25.
- Blanco, D. (2009). Tratamiento biológico aerobio-anaerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost. [Tesis de pregrado] Universidad de León, León.
- Botero, R., & Preston, T. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible. [Archivo PDF]. Recuperado de <http://usi.earth.ac.cr/>

- Branca, G., Cacchiarelli, L., Cardona, C. A., Felix, E., Gianvenuti, A., Kojakovic, A., Maltsoğlu, I., Martchamadol, J., Rincon, L., Rossi, A., Seghetti, A., Steierer, F., Thofern, H., Thulstrup, A., Tolli, M., & Valencia, M. (2014). Manual de usuario: residuos agrícolas y ganaderos, Colombia, Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida.
- Cabello, M (2006). Energías Alternativas: Solución para el desarrollo sustentable, Chile, Refinor S.A.
- Cárdenas, J., Quipuzco, L., & Meza, V. (2013). Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. Revista Del Instituto de Investigación de la facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, volumen (16), pp. 7-12
- Carmona, J. C. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de ciencias pecuarias, volumen (18), pp. 49-63.
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz, M. R., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabono a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y Forrajes, volumen (35), pp. 219-226.
- Chonlón, E. R. (2016). Estudio de Factibilidad de Producir biogás con residuos orgánicos ganaderos para satisfacer la demanda energética, Caserío El Tambo, Motupe [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo, Lima.
- Cornejo, E. (2012). Producción de biogás a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno) en la E.E.A. El Porvenir—Distrito de Juan Guerra [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Martín, San Martín.

Corona, I. (2013). Biodigestores [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo.

Energy information Administration (2013) Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the annual energy outlook 2012. Recuperado de <https://www.eia.gov/>

FAO. (2018). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura de <http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>

García, S. (s. f.). Energías renovables. Recuperado de <http://energia.renovetec.com/>

Guerrero, L. (2016). Biodigestores. About español de <https://www.aboutespanol.com/que-es-un-biodigestor-3417683>

Huere, J. L., Alcántara, E. M., & Surichaqui, F. (2015). Producción de biogás en un prototipo de biodigestor a condiciones ambientales de Huancavelica [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.

Institute For Energy Research. (2019). Levelized costs of new electricity generating technologies. Recuperado de <https://instituteforenergyresearch.org/>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Energía de la biomasa: digestores Anaerobios, energías renovables, España, Ministerio de industria, turismo y comercio.

Jerves, N. G. (2012). Aprovechamiento del Lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

- Lazarte, J. (2016). Implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y abono orgánico a partir del estiércol de ganado en la Hacienda Los Olivos [Tesis de pregrado]. Universidad Alas Peruanas, Arequipa.
- León, A. (2011). El concepto de tiempo. Revista latinoamericana de ciencias sociales niñez y juventud, volumen (2), pp. 869-884.
- López, F., Lahoz, A., Cuadros, F., González, J., Zamora, J., Marí, A., Ruiz, A., & Cosme, J. M. (2014). Los residuos ganaderos, Chile. Agencia Extremeña de ganadería.
- Macías, E. (2015). El efecto de biol mas microorganismos eficientes (EM) sobre el comportamiento agronómico del maíz (*Zea mayz L*) [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Mancha, R. (2015). Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el Centro Poblado de Sanquira-Yunguyo [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Mantilla, J., & Duque, C. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. Revista ingeniería e investigación, volumen (27), pp. 113-142.
- María A. (2010, marzo 1). Medio Ambiente. Blog spot de <http://anita-medioambiente.blogspot.com/2010/03/bioabono.html>
- Martínez, M. (2007). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Nova Scientia, volumen (7), pp. 96-115.
- Martínez, S. (2009). Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña [Tesis de grado]. Universidad de Girona, España.

- Melo, L. V., Sánchez, R., Cañada, F., Martínez, G. (2016). Dificultades del Aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la Flotación. Revista Brasileira de Ensino de Física, volumen (38), pp. 2-20.
- MINAGRI. (2012). Decreto Supremo N° 016-2012-AG: Aprueban reglamento de manejo de los residuos sólidos del sector agrario. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/>
- Olaya, Y., & González, L. O. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores [Archivo PDF]. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/>
- Palomo, A. C. (2019). Estudio de factibilidad de instalación de una planta de biogás en el establecimiento avícola, Ponedoras del Neuquén [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Río Negro, Argentina.
- Paucar, L. (2015). Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la granja V.A. Velebit SAC. ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima
- Pérez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros [Tesis de pregrado]. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M., & Botero, R. (2007). Generación de energía eléctrica a partir de biogás. Arnaldoa, volumen (3), pp. 227-235.
- Ramos, O. J. (2019). Condiciones de alimentación en ganado bovino para disminuir las emisiones de Metano en el contexto nariñense [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá.

- Ruíz, R. (2012). Producción de biogás a partir de mezclas de estiércol inoculadas: Variable tipo de inóculo [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Salazar, J. L., Amusquivar, C., Llave, J. J., & Rivasplata, C. (2012). Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: Experiencias en la ciudad de Tacna. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, volumen (11), pp.14-17.
- Sánchez, M. (2016, agosto 1). ¿Qué tipos de estiércol hay y cuáles son sus características? Recuperado de <https://www.jardineriaon.com/>
- Serrano, J. F. (2018). ¿Es posible inferir la eficiencia de un proceso de combustión a partir de una inspección visual de la llama? Corporación CDT de gas, volumen (1), pp. 64-70.
- Servicios Manufactureros. (2008). Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala. Recuperado de <http://www.oas.org/dsd/Energy/>
- Silva, J. P. (2012). Tecnología del biogás [archivo PDF]. Recuperado de <https://sswm.info/sites/>
- Sogari, N. (2003). Expresión matemática propuesta para calcular la producción de metano degradando distintos restos orgánicos. Avances en energías renovables y medio ambiente, volumen (7), pp. 9-10.
- Tapia, V. (2016). Manual técnico instalación y uso de biogás: Ganadería Puneña, generando energía limpia para calefacción y cocina familiar. Perú, USAID.
- Tay, M. (2017). Rendimiento de biogás y biofertilizante en la digestión anaerobia de estiércol de animales y rastrojos en Lambayeque. [tesis de pregrado] Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque.


- Toala, E. (2014). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica [Tesis de pregrado] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
- Toruño, L. A., Casco, D. M., & Lira, E. I. (2016). Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos [Monografía]. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/>
- Trueba, C., Remuzgo, L., Jordá, V., & Sarabia, J. M. (2014). Evolución de las emisiones de GEI a nivel mundial: Análisis multidimensional de desigualdad y polarización. [archivo PDF]. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/>
- Universidad de Murcia. (2010). Biomasa. <https://www.um.es/>
- Ushñahua, L. Q., Quispe, W. B., & Cruz, O. T. (2011). Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. Revista del Instituto de Investigación de la facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, volumen 14.
- Varnero, M. T. (2011). Manual de Biogás. Ministerio de Energía. <http://www.fao.org/>





## **ANEXOS**


**Anexo 1:**  
Fichas de Evaluación


## Modelo de la ficha evaluativa


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>			
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de vacuno (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de equino (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020					
16/07/2020					
17/07/2020					
18/07/2020					
19/07/2020					
20/07/2020					
21/07/2020					
22/07/2020					
23/07/2020					
24/07/2020					

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
1	1.1	3.2	4.3	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:15:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:16:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	09:47:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:22:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:18:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:25:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:30:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:26:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	10:48:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	09:48:00 a.m.	16.40	-	-	-

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		<b>2</b>	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
1	1.1	3.2	4.3	0.5	2/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
25/07/2020	09:13:00 a.m.	16.80	-	-	-
26/07/2020	10:04:00 a.m.	17.60	-	-	-
27/07/2020	09:12:00 a.m.	15.60	-	-	-
28/07/2020	08:58:00 a.m.	15.00	-	-	-
29/07/2020	09:21:00 a.m.	16.20	-	-	-
30/07/2020	10:06:00 a.m.	17.00	0.220	Mala	30 días
			-		


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
2	0.8	3.4	4.3	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:18:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:14:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	09:53:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:29:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:23:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:29:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:35:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:30:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	10:52:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	09:53:00 a.m.	16.40	-	-	-


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		2	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
Nº Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha Nº
2	0.8	3.4	4.3	0.5	2/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
25/07/2020	09:18:00 a.m.	16.80	-	-	-
26/07/2020	10:09:00 a.m.	17.60	-	-	-
27/07/2020	09:18:00 a.m.	15.60	-	-	-
28/07/2020	09:03:00 a.m.	15.00	-	-	-
29/07/2020	09:27:00 a.m.	16.20	0.410	Regular	29 días
			-		


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
3	0.8	3.2	4.5	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:26:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:19:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	09:58:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:34:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:27:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:34:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:39:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:34:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	10:59:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	09:57:00 a.m.	16.40	-	-	-








 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
4	0.6	3.7	4.3	0.5	1/1
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:31:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:24:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:04:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:39:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:36:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:38:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:43:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:39:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	11:04:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	10:03:00 a.m.	16.40	0.480	Buena	24 días


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
5	0.6	3.4	4.5	0.5	1/1
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:34:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:28:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:09:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:43:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:39:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:46:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:47:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:44:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	11:08:00 a.m.	14.60	0.620	Buena	23 días

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>			<b>Altura (msnm)</b>		
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
Nº Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha Nº
6	0.6	3.2	4.8	0.5	1/1
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:39:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:34:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:13:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:48:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:43:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:53:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	10:52:00 a.m.	16.40	0.560	Regular	21 días


 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
7	1.1	3.2	4.3	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:44:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:37:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:19:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:52:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:48:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	10:59:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	11:24:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:49:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	11:39:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	10:38:00 a.m.	16.40	-	-	-

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		2	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
7	1.1	3.2	4.3	0.5	2/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
25/07/2020	09:32:00 a.m.	16.80	-	-	-
26/07/2020	10:18:00 a.m.	17.60	-	-	-
27/07/2020	09:29:00 a.m.	15.60	-	-	-
28/07/2020	09:29:00 a.m.	15.00	-		
29/07/2020	09:51:00 a.m.	16.20			
30/07/2020	10:28:00 a.m.	17.00			
31/07/2020	09:10:00 a.m.	17.20	0.250	Mala	31 días

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
8	0.8	3.4	4.3	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:48:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:41:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:24:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	09:57:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:54:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	11:07:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	11:30:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:53:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	11:43:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	10:47:00 a.m.	16.40	-	-	-

 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		2	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
Nº Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha Nº
8	0.8	3.4	4.3	0.5	2/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
25/07/2020	09:39:00 a.m.	16.80	-	-	-
26/07/2020	10:23:00 a.m.	17.60	-	-	-
27/07/2020	09:34:00 a.m.	15.60	-	-	-
28/07/2020	09:34:00 a.m.	15.00	-	-	-
29/07/2020	09:58:00 a.m.	16.20	-	-	-
30/07/2020	10:52:00 a.m.	17.00	0.400	Buena	30 días





 <b>FICHA DE EVALUACIÓN</b>					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Distrito:</b>	Sama Inclán	<b>Número de Ficha:</b>		1	
<b>Coordenadas (UTM) - (Zona 19K)</b>				<b>Altura (msnm)</b>	
<b>ESTE:</b>	341202	<b>NORTE:</b>	8032577.1	312 msnm	
Concentración del biodigestor					
N° Biodigestor	Estiércol de equino (L)	Estiércol de ovino (L)	Estiércol de vacuno (L)	Silo de maíz (L)	Ficha N°
9	0.8	3.2	4.5	0.5	1/2
Día de evaluación	Hora de evaluación	Temperatura ambiente	Resultados de evaluación		
			Volumen de gas (Litros)	Calidad del gas (color)	Tiempo de inicio de producción (días)
15/07/2020	09:54:00 a.m.	17.60	-	-	-
16/07/2020	10:47:00 a.m.	14.20	-	-	-
17/07/2020	10:27:00 a.m.	15.80	-	-	-
18/07/2020	10:03:00 a.m.	15.00	-	-	-
19/07/2020	09:59:00 a.m.	15.30	-	-	-
20/07/2020	11:12:00 a.m.	16.20	-	-	-
21/07/2020	11:35:00 a.m.	16.40	-	-	-
22/07/2020	10:58:00 a.m.	15.20	-	-	-
23/07/2020	11:47:00 a.m.	14.60	-	-	-
24/07/2020	10:52:00 a.m.	16.40	-	-	-

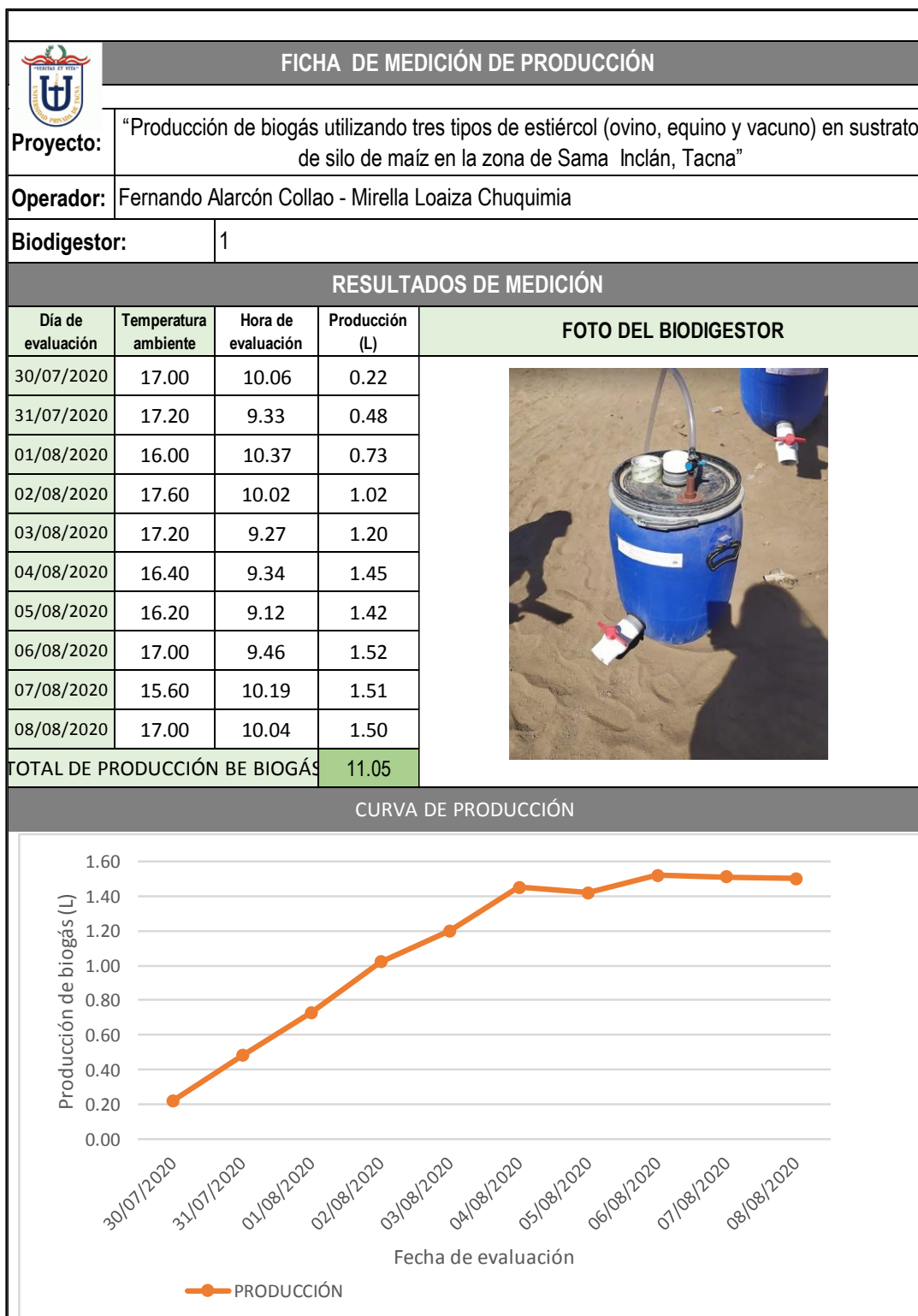


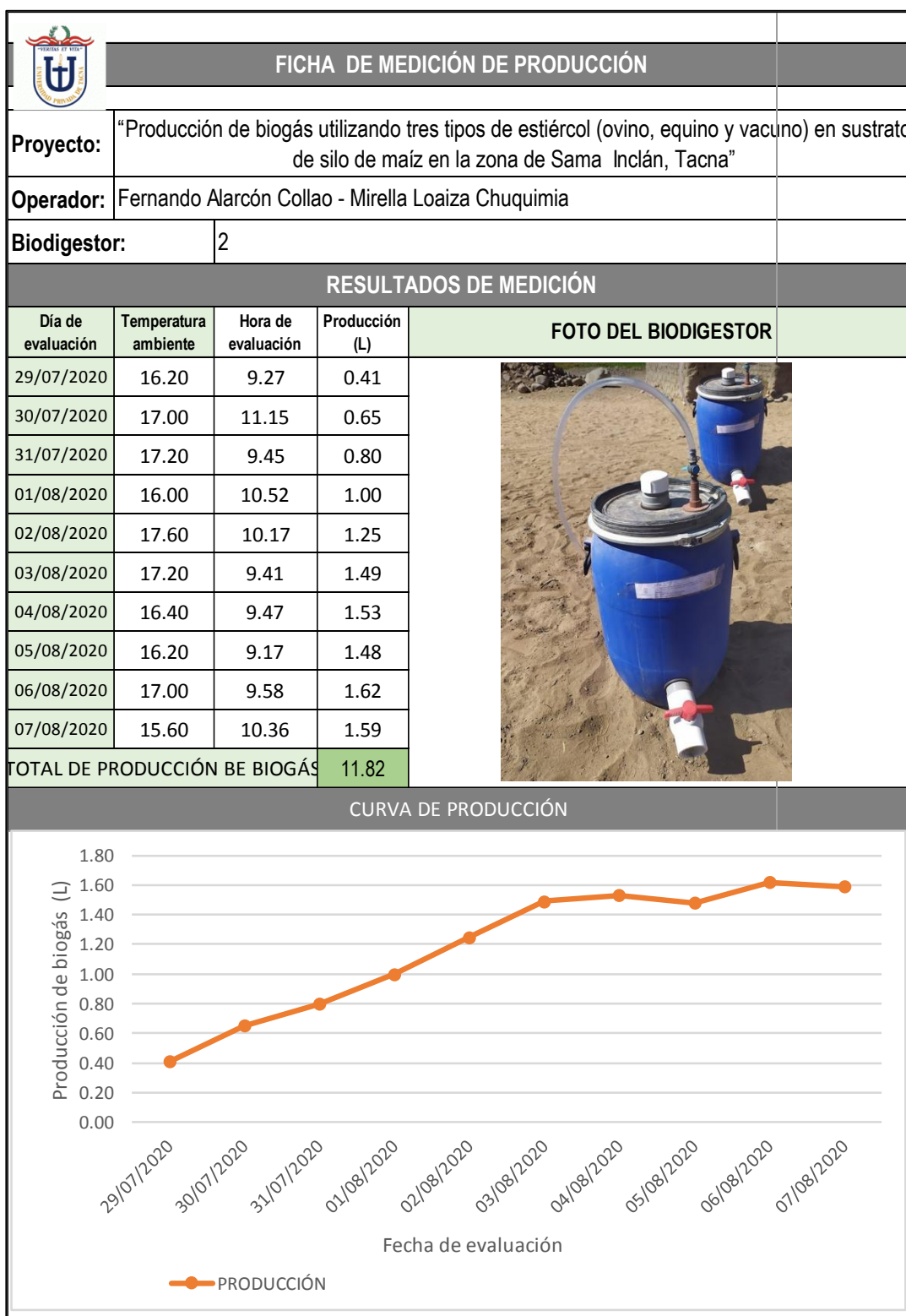
**Anexo 2**



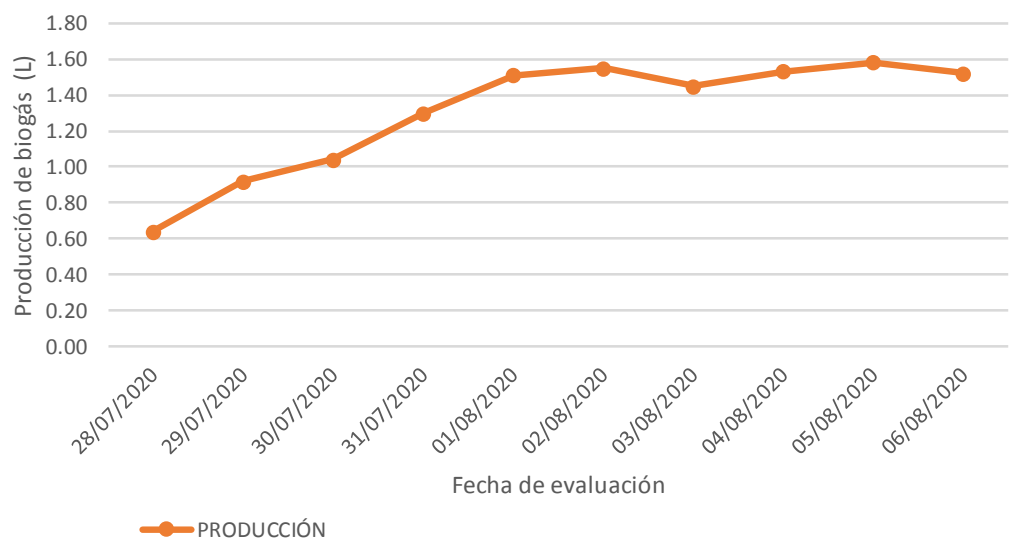
Fichas de medición de producción



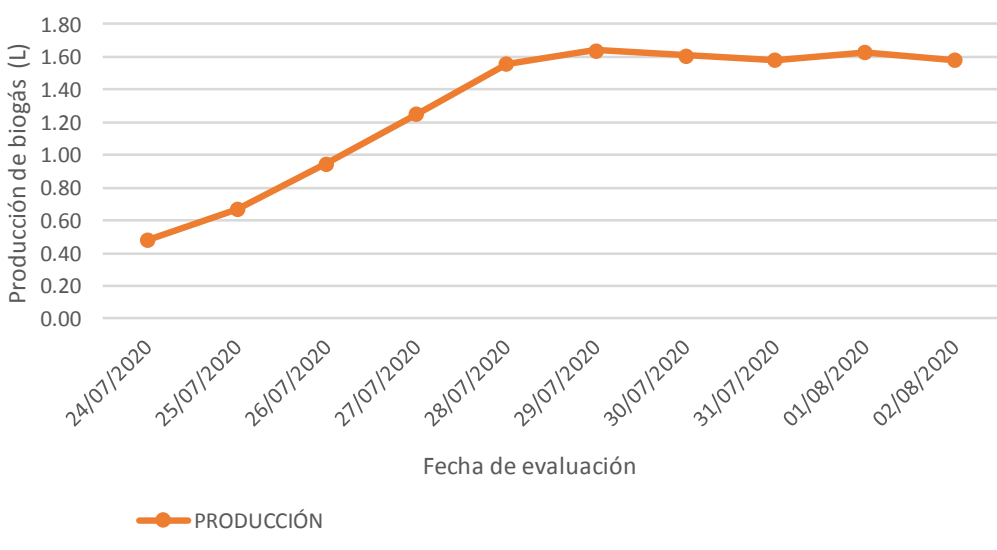
Modelo de la ficha de medición de producción

FICHA DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN				
				
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"			
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia			
<b>Biodigestor:</b>				
RESULTADOS DE MEDICIÓN				
Día de evaluación	Temperatura ambiente	Hora de evaluación	Producción (L)	FOTO DEL BIODIGESTOR
TOTAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS			0.00	
CURVA DE PRODUCCIÓN				
 <p style="text-align: center;">Fecha de evaluación</p> <p style="text-align: center;">● PRODUCCIÓN</p>				

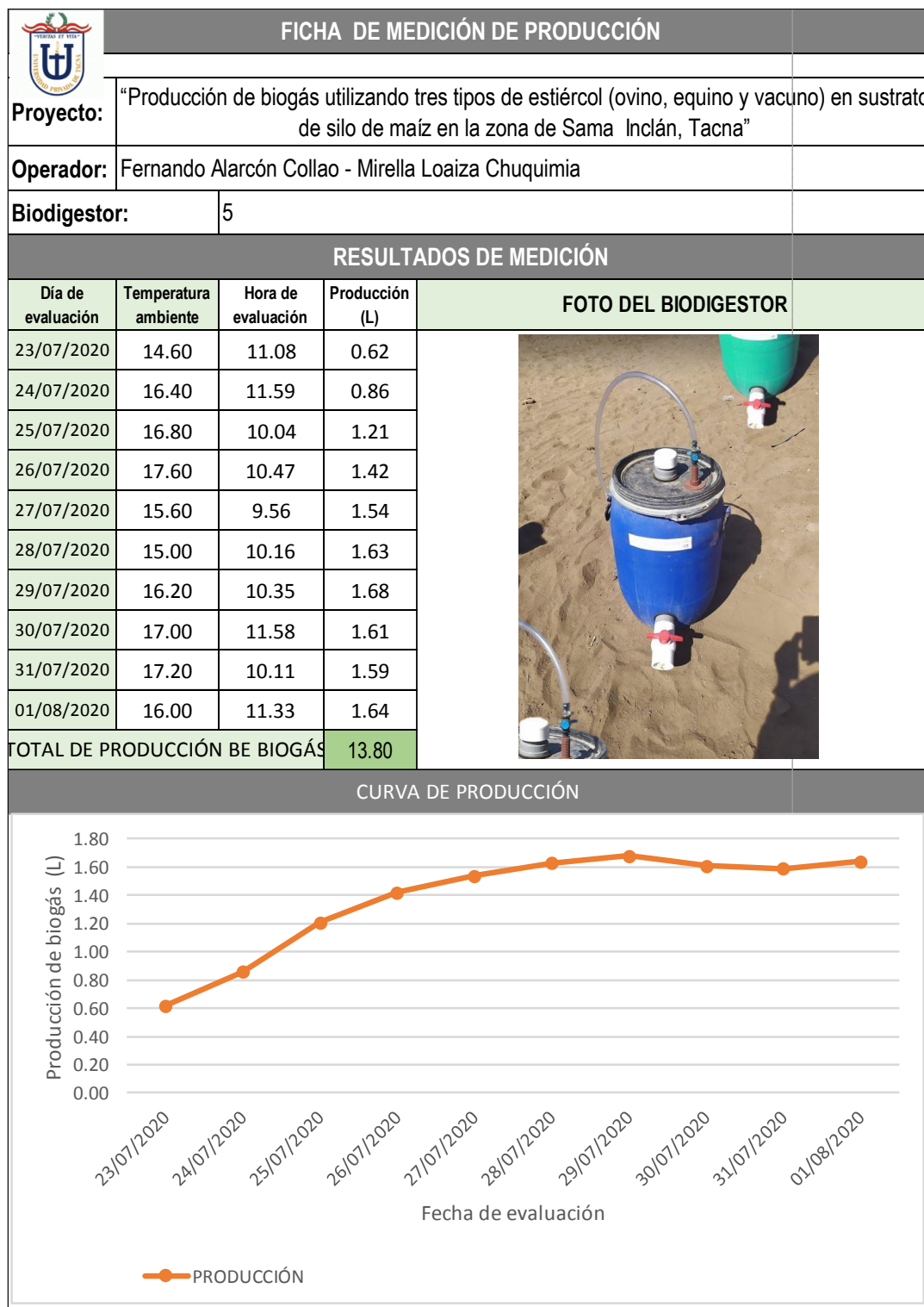


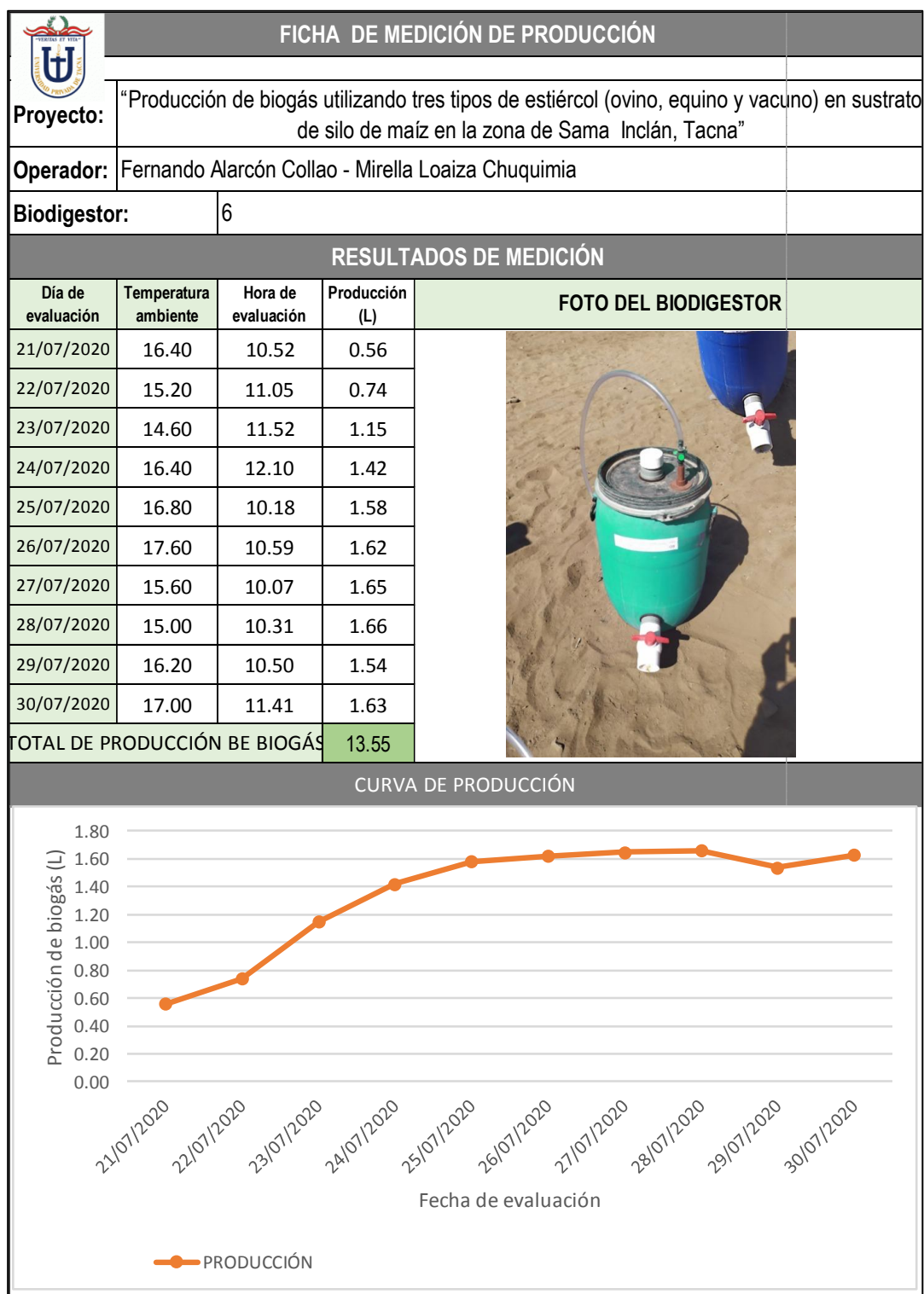


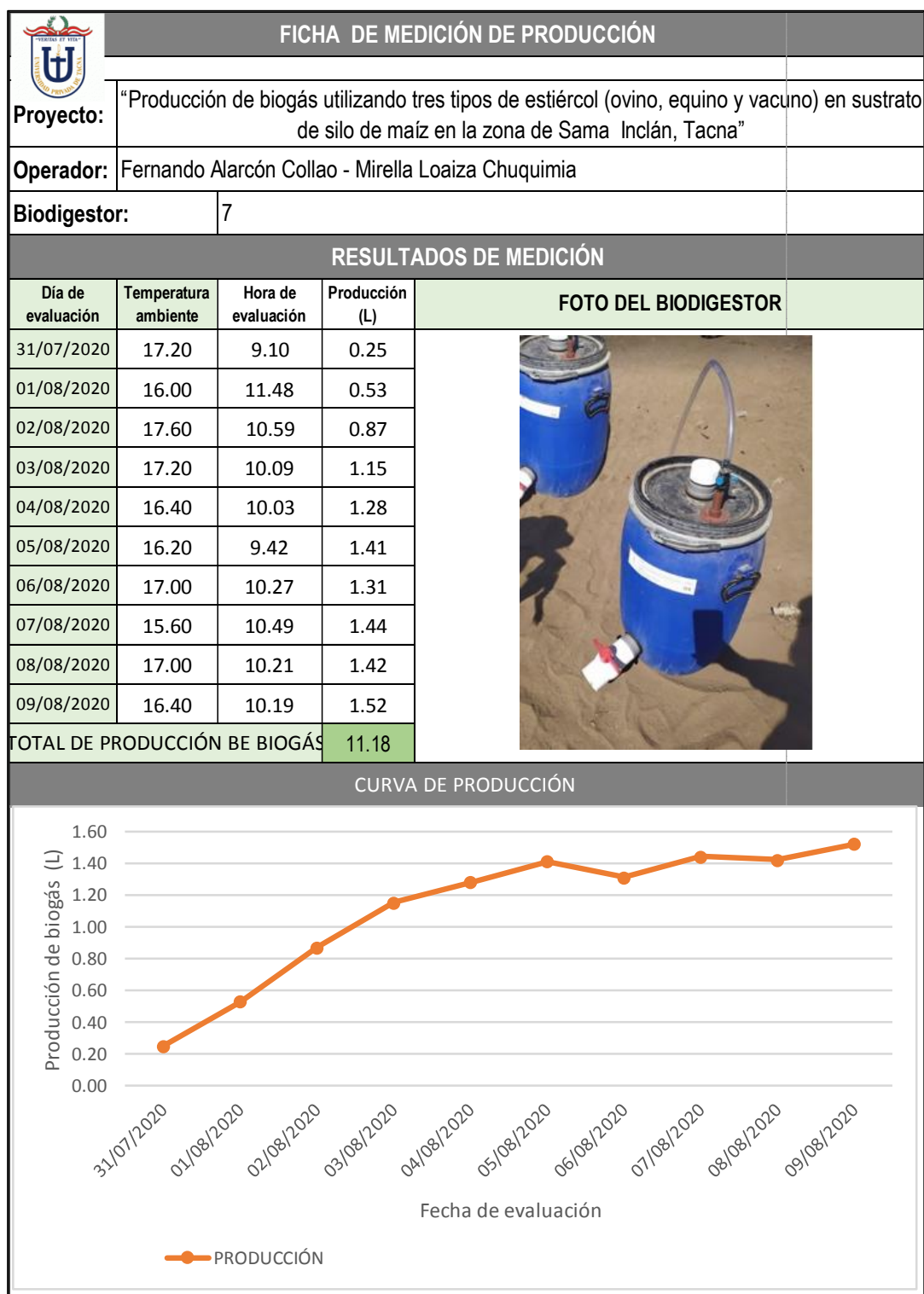
FICHA DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN				
				
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"			
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loiza Chuquimia			
<b>Biodigestor:</b>	3			
RESULTADOS DE MEDICIÓN				
Día de evaluación	Temperatura ambiente	Hora de evaluación	Producción (L)	FOTO DEL BIODIGESTOR
28/07/2020	15.00	9.07	0.64	
29/07/2020	16.20	10.04	0.92	
30/07/2020	17.00	11.32	1.04	
31/07/2020	17.20	9.58	1.30	
01/08/2020	16.00	11.05	1.51	
02/08/2020	17.60	10.30	1.55	
03/08/2020	17.20	9.56	1.45	
04/08/2020	16.40	9.58	1.53	
05/08/2020	16.20	9.29	1.58	
06/08/2020	17.00	10.12	1.52	
<b>TOTAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b>			<b>13.04</b>	
CURVA DE PRODUCCIÓN				
				

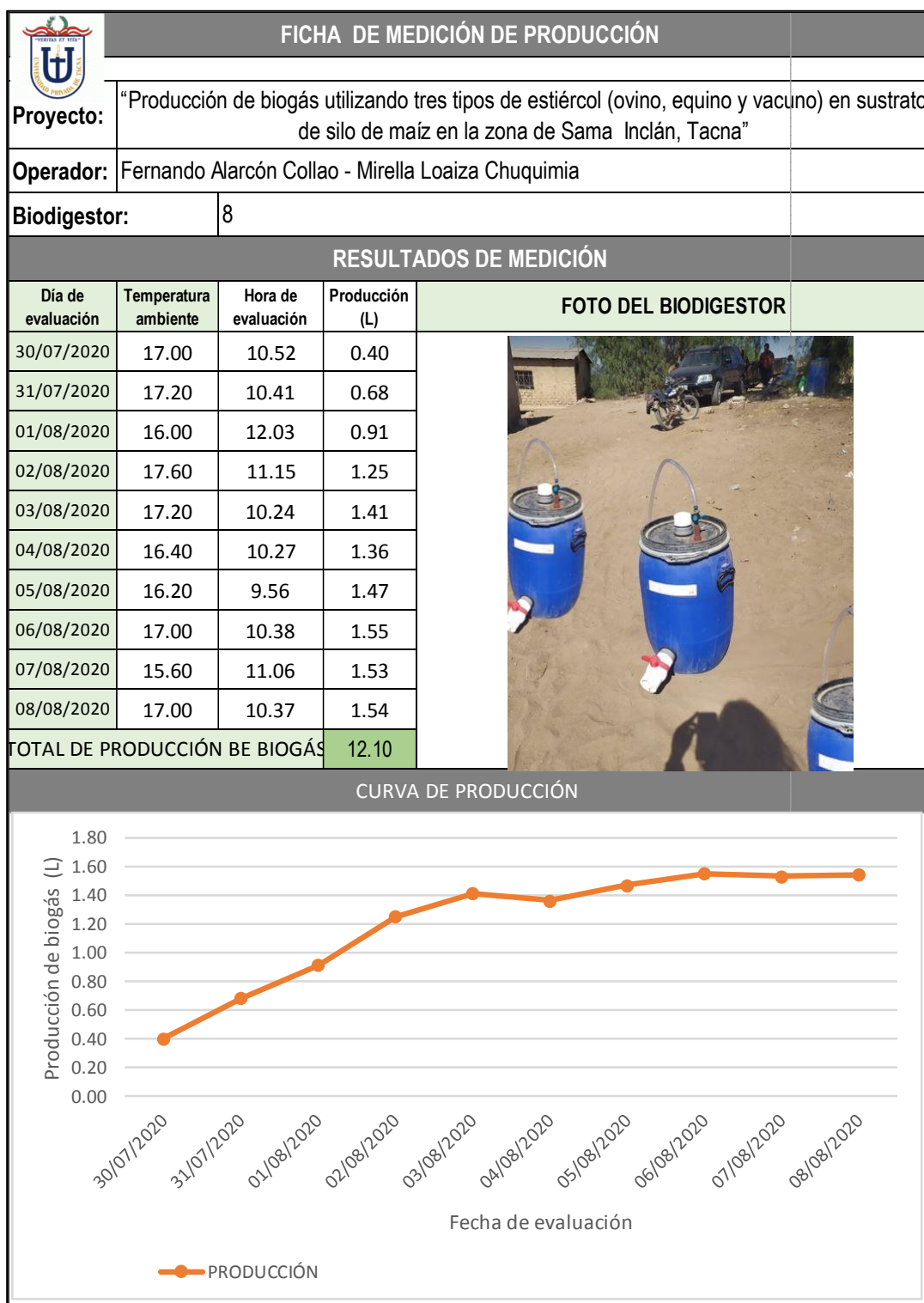
FICHA DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN					
					
<b>Proyecto:</b>	"Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna"				
<b>Operador:</b>	Fernando Alarcón Collao - Mirella Loaiza Chuquimia				
<b>Biodigestor:</b>	4				
RESULTADOS DE MEDICIÓN					
Día de evaluación	Temperatura ambiente	Hora de evaluación	Producción (L)	FOTO DEL BIODIGESTOR	
24/07/2020	16.40	10.03	0.48		
25/07/2020	16.80	9.51	0.67		
26/07/2020	17.60	10.35	0.95		
27/07/2020	15.60	9.43	1.25		
28/07/2020	15.00	10.20	1.56		
29/07/2020	16.20	10.19	1.64		
30/07/2020	17.00	11.46	1.61		
31/07/2020	17.20	10.06	1.58		
01/08/2020	16.00	11.19	1.63		
02/08/2020	17.60	10.43	1.58		
<b>TOTAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b>			<b>12.95</b>		
CURVA DE PRODUCCIÓN					
					

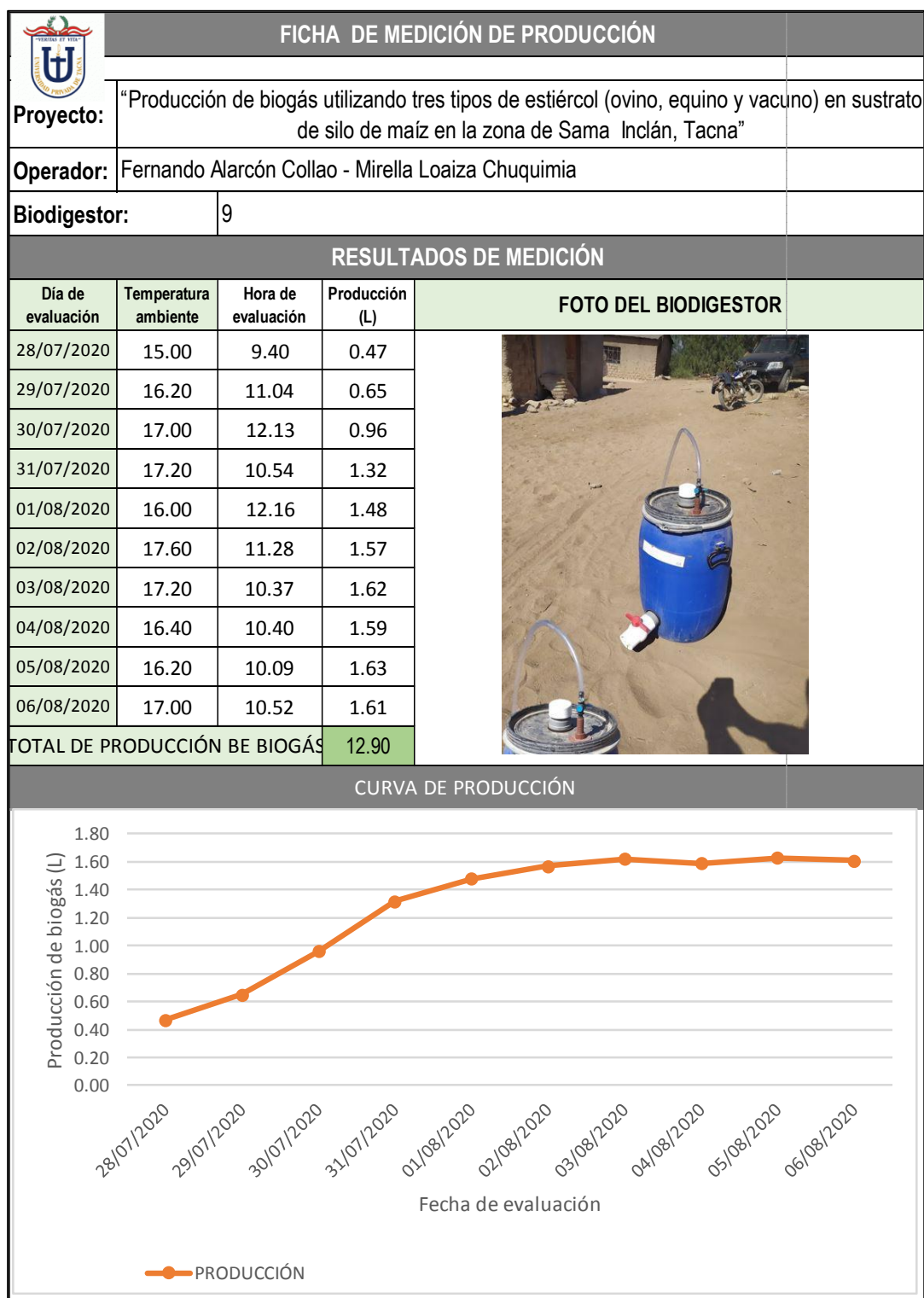












**Anexo 3**  
Datos hidrometeorológicos

## DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL MES DE JUNIO DEL 2020

Estación : SAMA GRANDE				
Departamento : TACNA		Provincia : TACNA		Distrito : INCLÁN
Latitud : 17°47'15.3"		Longitud : 70°29'22.6"		Altitud : 529 msnm.
Tipo : CO - Meteorológica		Código :		117018
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/06/2020	23.8	12.2	92	0
02/06/2020	20.4	13.2	91.1	2.3
03/06/2020	17.6	12.8	92.6	1.2
04/06/2020	21.4	12	92.7	0
05/06/2020	24.6	11.2	93.2	0
06/06/2020	25	12	92.2	0
07/06/2020	23.4	12.2	91.7	0
08/06/2020	23.2	13	92.4	0
09/06/2020	22.6	12.8	92.1	0.5
10/06/2020	18.6	12.6	92.2	2.3
11/06/2020	23.2	13	93.7	0.9
12/06/2020	20.2	13.2	94.2	0
13/06/2020	22.6	13	94.3	0
14/06/2020	22.8	12	93	0
15/06/2020	22	12.8	93.7	0
16/06/2020	22	12.8	92.4	0
17/06/2020	22.2	12.2	93.5	0
18/06/2020	22	10.2	92.9	0
19/06/2020	22.2	11	91.6	0
20/06/2020	23	11.8	92.9	0
21/06/2020	23.2	10.8	91.7	0
22/06/2020	22.2	11	92.8	0
23/06/2020	23	11.8	93.1	0
24/06/2020	21.4	10.2	90.3	0
25/06/2020	22.2	10.8	91.6	0
26/06/2020	24.6	11	91.8	0
27/06/2020	22.6	10.6	93	0
28/06/2020	21.8	8	93.6	0
29/06/2020	23	8.8	92.1	0
30/06/2020	22	9.4	90.3	0

Fuente: SENAMHI

## DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL MES DE JULIO DEL 2020

Estación : SAMA GRANDE				
Departamento : TACNA		Provincia : TACNA		Distrito : INCLÁN
Latitud : 17°47'15.3"		Longitud : 70°29'22.6"		Altitud : 529 msnm.
Tipo : CO - Meteorológica		Código : 117018		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/07/2020	20.4	8.2	91.7	0
02/07/2020	22.4	9.4	91.4	0
03/07/2020	22.6	9	92.2	0
04/07/2020	21.6	9.2	92	0
05/07/2020	21.8	9	91.4	0
06/07/2020	21.4	7	92.6	0
07/07/2020	21.6	7.4	90.8	0
08/07/2020	21.2	11	91.5	0
09/07/2020	22.6	9.2	91.9	0
10/07/2020	21.8	10.4	91.5	0
11/07/2020	21.4	8.8	90.7	0
12/07/2020	21.4	9	90.7	0
13/07/2020	25	5.6	91.2	0
14/07/2020	26.6	6.4	92.3	0
15/07/2020	24.2	7.6	91.7	0
16/07/2020	22	7.6	91	0
17/07/2020	20.4	8.2	91.1	0
18/07/2020	20.2	9.8	91.9	0
19/07/2020	21.8	10.6	91.5	0
20/07/2020	22.8	10	92.6	0
21/07/2020	22	10.8	91.4	0
22/07/2020	21	11.4	92	0
23/07/2020	19	11.2	91.8	0
24/07/2020	19.6	10.2	92.7	0
25/07/2020	22.6	10	90.9	0
26/07/2020	22.8	10.2	93	0
27/07/2020	22.4	9	91.5	0
28/07/2020	22.2	9.2	92.9	0
29/07/2020	22.4	8	92.1	0
30/07/2020	24.2	7.6	92	0
31/07/2020	25.8	8.4	92.3	0

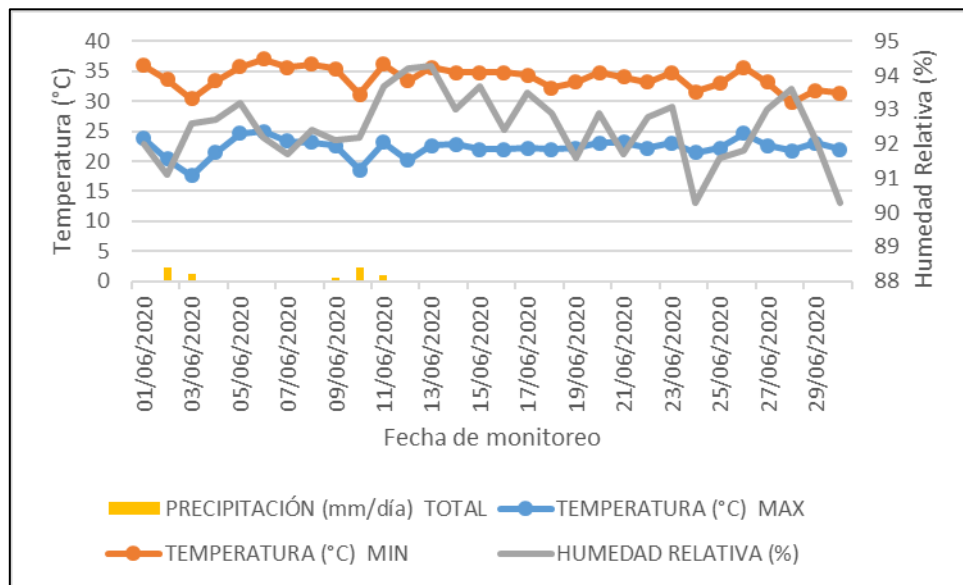
Fuente SENAMHI



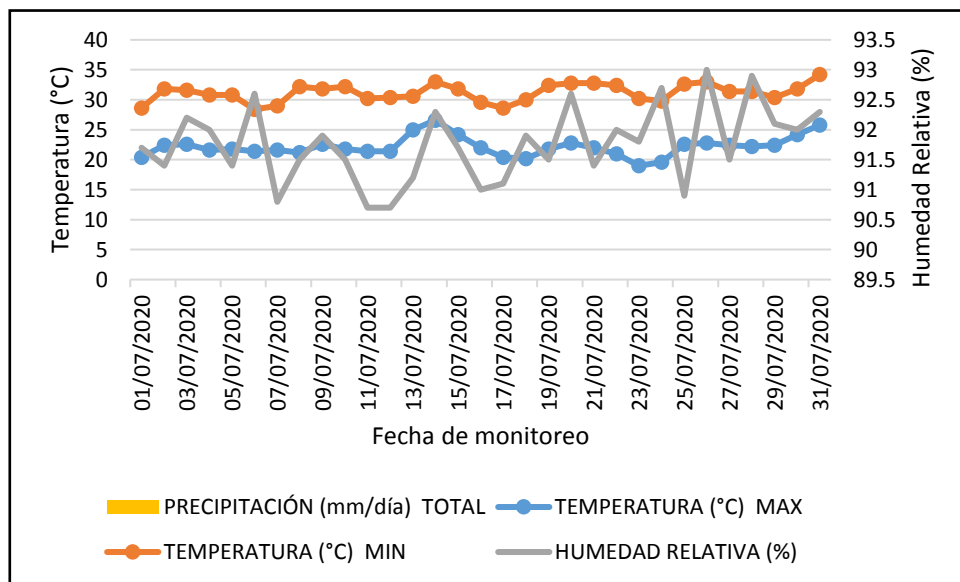
## DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL MES DE AGOSTO DEL 2020

Estación : SAMA GRANDE				
Departamento : TACNA		Provincia : TACNA		Distrito : INCLÁN
Latitud : 17°47'15.3"		Longitud : 70°29'22.6"		Altitud : 529 msnm.
Tipo : CO - Meteorológica		Código : 117018		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/08/2020	22.6	9.6	92.1	0
02/08/2020	23.2	10.2	91.4	0
03/08/2020	21.4	10.6	91.5	0
04/08/2020	22	10.4	90.9	0
05/08/2020	22.2	8.6	91.2	0
06/08/2020	23.2	9.4	90.7	0
07/08/2020	23.2	10	91.3	0
08/08/2020	22.2	9	92.1	0
09/08/2020	22.8	8.8	91.2	0
10/08/2020	21.4	9.4	91.4	0
11/08/2020	22.4	10.6	91.4	0
12/08/2020	21.8	11	92	0
13/08/2020	22.4	10.8	92.8	0
14/08/2020	21	11	90.7	0
15/08/2020	21.8	11	91.5	0
16/08/2020	21.4	10.8	92	0
17/08/2020	21.4	10.6	91.3	0.9
18/08/2020	20	10.6	91.1	1.5
19/08/2020	20	9.8	91.1	0
20/08/2020	22	9.8	93.1	0
21/08/2020	22.2	10.6	93.3	0
22/08/2020	23.8	9.8	91.6	0
23/08/2020	21.6	11.4	91.5	1.6
24/08/2020	21.8	11	90.8	0
25/08/2020	21.6	10.8	92.9	1.3
26/08/2020	22.2	10.6	91.4	0
27/08/2020	22.4	11.6	91.7	0
28/08/2020	20.6	11	92.1	0
29/08/2020	19.4	11.2	89.9	1.8
30/08/2020	16.6	10	93.7	1.2
31/08/2020	20.6	10.2	95.2	0

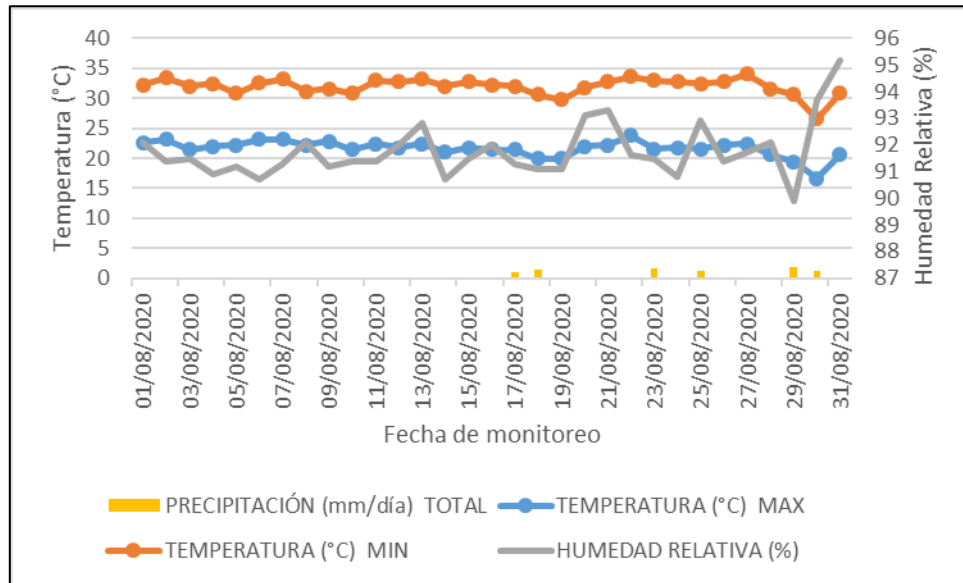
Fuente: SENAMHI



Gráfica de los datos hidrometeorológicos del mes de junio del 2020  
Fuente: SENAMHI



Gráfica de los datos hidrometeorológicos del mes de julio del 2020  
Fuente: SENAMHI



Gráfica de los datos hidrometeorológicos del mes de agosto del 2020  
Fuente: SENAMHI

**Anexo 4**  
Panel fotográfico

Armado de los biodigestores



*Fotografía N° 01:* Agujero en el pie del bidón hecho por broca circular  
Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 02:* agujero en la tapa del bidón, para ingreso de la mezcla  
Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 03:* Implementación de a tuerca con la contratuerca  
Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 04:* Implementación de la manguera plástica al bidón  
Fuente: elaboración propia

1. Implementación de biodigestores



*Fotografía N° 05: Excavación de suelo*  
Fuente: Elaboración propia



*Fotografía N° 06: Llenado de los biodigestores*  
Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 07: Pesaje para encontrar la densidad de los estiércoles y silo de maíz*  
Fuente: elaboración propia



*Fotografía N°08: método de medición por prueba de botella invertida*

Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 09: Recarga de los biodigestores*

Fuente: elaboración propia



*Fotografía N° 10: Biodigestores de 20 litros*

Fuente: elaboración propia

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Tabla 43  
Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Método	Prueba estadística o estratégica
Formulación general:	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente			
¿Es posible producir biogás utilizando una proporción de estiércol de ganado ovino, equino y vacuno en silo de maíz en la zona de Sama Inclán?	Producir biogás utilizando estiércol de ganado vacuno, ovino y equino en silo de maíz en la zona de Sama Inclán.	H <sub>1</sub> : Es posible obtener biogás utilizando una mezcla de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno mayor a 10 L en 10 días de producción en la zona de Sama Inclán.	Tipo de estiércol: - Vacuno - Ovino - Equino	Litros		Prueba de hipótesis
Formulaciones específicas	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente	Indicadores	Método	
¿Cuál es el tipo de estiércol ovino, vacuno o equino que tiene mayor efecto en la producción de biogás?	Determinar el efecto del tipo de estiércol de ganado ovino, vacuno o equino en la producción de biogás en la zona ganadera de Sama Inclán.	H <sub>2</sub> : el estiércol de ganado ovino es el que tiene mayor efecto en la producción de biogás	Producción de biogás	Litros	Fermentación anaerobia	
¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para disminuir el tiempo de inicio de la producción de biogás?	Determinar la mezcla óptima de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para disminuir el tiempo de producción de biogás en la zona de ganadera de Sama Inclán.	Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para mejorar el tiempo en el inicio de la producción de biogás.	Producción de biogás	Litros		
¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para conseguir una mayor cantidad de producción de biogás en 10 días?	Establecer la mezcla idónea de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para optimizar la cantidad de producción de biogás en la zona de ganadera de Sama Inclán.	H <sub>3</sub> : Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir mayor cantidad de biogás.	Tiempo de producción de biogás.	L/días		
¿Qué mezcla de estiércol de ganado ovino, vacuno y equino, con silo de maíz es más óptima para conseguir una mejora de calidad de biogás?	Determinar cuál es la mezcla óptima de estiércol de ganado vacuno, ovino y equino con silo de maíz para obtener un biogás de mejor calidad en la zona ganadera de Sama Inclán.	H <sub>4</sub> : Se obtiene una mezcla óptima significativa de estiércol de ganado equino, ovino y vacuno para producir biogás de mejor calidad.	Calidad de la producción de biogás.	1: Sin llama 2: Llama amarillenta 3: Llama muy azul 4: Llama celeste con puntas rosadas		

Fuente: elaboración propia.