



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Control de los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de  
suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco -  
2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTOR:**

Ttito Ccama, Julio Cesar (orcid.org/0000-0001-7642-350X)

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (orcid.org/0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

## DEDICATORIA

A mi esposa e hijo, que me alientan en todo momento para lograr los objetivos propuestos.

A mis padres y familiares que están siempre presente en mi vida brindando su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que siempre está presente en nuestras vidas.

A mi asesor de tesis que me supo alentar en el momento preciso para no dejar de lado el trabajo de tesis.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Control de los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco - 2023", cuyo autor es TTITO CCAMA JULIO CESAR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 08 de Abril del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO DNI: 07234567 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 24- 04-2024 14:46:26

Código documento Trilce: TRI - 0742190





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, TTITO CCAMA JULIO CESAR estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Control de los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco - 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
TTITO CCAMA JULIO CESAR DNI: 40240785 ORCID: 0000-0001-7642-350X	Firmado electrónicamente por: JCTTITO el 02-05-2024 19:19:10

Código documento Trilce: INV - 1575965

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	29
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	29
3.2. Variables y operacionalización.....	29
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	30
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.5. Procedimientos.....	34
3.6. Método de análisis de datos.....	48
3.7. Aspectos éticos.....	50
IV. RESULTADOS .....	51
V. DISCUSIÓN .....	71
VI. CONCLUSIONES.....	78
VII. RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS.....	81
ANEXOS .....	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Composición del suero dulce y suero ácido .....	16
Tabla N° 2: Composición Química del Biogás.....	22
Tabla N° 3: Características generales de composición de 1 m <sup>3</sup> biogás .....	23
Tabla N° 4: Tiempo de retención hidráulica según rangos de temperatura .....	26
Tabla N° 5: Operacionalización de variables.....	30
Tabla N° 6: Temperatura en la provincia de Espinar .....	35
Tabla N° 7: Diseño completamente al azar (DCA) .....	49
Tabla N° 8: Diseño completamente al azar (DCA) .....	49
Tabla N° 9: Relación carbono/nitrógeno individual .....	51
Tabla N° 10: Relación carbono/nitrógeno en las mezclas .....	51
Tabla N° 11: Porcentaje de sólidos totales en los sustratos.....	52
Tabla N° 12: Porcentaje de sólidos totales en las mezclas .....	53
Tabla N° 13: Valor de pH del estiércol bovino y suero de queso .....	53
Tabla N° 14: Control de pH en las mezclas de suero y estiércol.....	55
Tabla N° 15: Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	60
Tabla N° 16: Producción de biogás en la mezcla 3:1 (suero / estiércol) .....	61
Tabla N° 17: Producción de biogás en la mezcla 5:1 (suero / estiércol) .....	62
Tabla N° 18: Producción de biogás en la mezcla 7:1 (suero / estiércol) .....	64
Tabla N° 19: Esquema de diseño, mezcla de suero y estiércol.....	68
Tabla N° 20: Análisis de varianza .....	68
Tabla N° 21: Características cualitativas del biogás producido .....	69
Tabla N° 22: Características cuantitativas del biogás producido .....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura N° 1: Factores que rigen el rendimiento del proceso de codigestión de residuos .....	21
Figura N° 2: Ubicación de la investigación .....	35
Figura N° 3: Invernadero construido para el proceso de biodigestión.....	36
Figura N° 4: Diseño de biodigestores tipo Batch (carga fija).....	38
Figura N° 5: Biodigestores instalados en el invernadero .....	39
Figura N° 6: Variación de la temperatura ambiental dentro del invernadero .....	58
Figura N° 7: Temperatura ambiental y del agua dentro del invernadero .....	59
Figura N° 8: Promedio de producción por tratamiento.....	66
Figura N° 9: Producción de biogás acumulada por cada tratamiento .....	67



## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar como influyen los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, se evaluaron las mezclas entre suero lácteo y estiércol bovino en proporciones de 3:1, 5:1 y 7:1, para lo cual se utilizaron biodigestores anaeróbicos con carga fija ubicados dentro de un invernadero. Los parámetros evaluados y controlados han sido: relación carbono / nitrógeno que mostraron resultados de 24.26:1, 23.67:1 y 23.38:1, que se encuentran en el rango óptimo de 20:1 a 30:1; sobre el pH, se ha controlado agregando hidróxido de calcio por aproximadamente 15 días hasta que se logró estabilizar; la temperatura que es un parámetro crítico se ha mejorado instalando los biodigestores dentro de un invernadero, lográndose una temperatura de biodigestión aproximada de 15 °C a 26 °C; sobre la agitación se estableció cada 12 horas por 5 minutos y otro parámetro evaluado fue el tiempo de retención hidráulica que se ha establecido desde los 27 a los 35 días, parámetro que ha mejorado ostensiblemente como consecuencia del adecuado control de todos los parámetros. La producción de biogás resulto mejor en la mezcla 5:1, produciéndose 356.17% veces su volumen de mezcla; con un contenido de metano que llegó al 65% en el día 20 del proceso de biodigestión.

**Palabras clave:** Biodigestión anaerobia, codigestión, biodigestores, biogás, metano, suero lácteo, excreta bovina.

## ABSTRACT

In order to evaluate the influence of the parameters of the anaerobic co-digestion process of whey and bovine excreta on biogas generation, the mixtures of whey and bovine manure were evaluated in proportions of 3:1, 5:1 and 7:1, using anaerobic biodigesters with a fixed load located inside a greenhouse. The parameters evaluated and controlled have been: carbon / nitrogen ratio which showed results of 24.26:1, 23.67:1 and 23.38:1, which are in the optimum range of 20:1 to 30:1; on pH, it has been controlled by adding calcium hydroxide for approximately 15 days until it was stabilized; temperature, which is a critical parameter, has been improved by installing the biodigesters inside a greenhouse, achieving a biodigestion temperature of approximately 15 °C to 26 °C; agitation was established every 12 hours for 5 minutes and another parameter evaluated was the hydraulic retention time, which has been established from 27 to 35 days, a parameter that has improved ostensibly as a consequence of the adequate control of all parameters. Biogas production was better in the 5:1 mixture, producing 356.17% times the volume of the mixture; with a methane content that reached 65% on day 20 of the biodigestion process.

**Keywords:** anaerobic biodigestion, codigestion, biodigesters, biogas, methane, cheese whey, cattle manure.

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Midagri (2021), durante el año 2020 se ha producido 2,135,881 toneladas de leche de vaca fresca, y de esta aproximadamente 1,063,669 toneladas (49,80%) han sido acopiadas por la gran industria; la industria láctea artesanal acopió 857,343 toneladas equivalente al 40,14% y se destinaron al consumo animal de los terneros 214,870 toneladas (10,06%).

El Perú para producir derivados lácteos en el periodo 2015 – 2021 ha utilizado anualmente un promedio de 428000 toneladas de leche cruda y 2000 toneladas de leche en polvo (Indecopi 2022). El producto con mayor demanda a nivel internacional es el queso, su producción mundial llega a 20 millones de toneladas aproximadamente (Aramburu, 2016). La producción de queso da lugar a un residuo denominado suero, lactosuero o suero de quesería, que es vertido a cuerpos hídricos como lagunas, ríos y otras fuentes hídricas; lo que ocasiona enormes impactos ambientales negativos (Juliano et al., 2017).

Los países en vías de desarrollo cuentan con zonas rurales cuyas actividades económicas se centran en la producción lechera y crianza de ganado, estas actividades lo desarrollan pequeñas empresas o agricultores. La producción de lácteos genera empleo local, mejora la seguridad alimentaria y contribuye en el ingreso económico de pequeños agricultores (Escalante et al., 2018). La demanda de productos lácteos en los países en vías de desarrollo aumentará en los próximos años (FAO y GDP, 2018). Los principales residuos de esta actividad son el estiércol de ganado y el suero de queso (Asas et al., 2021).

El suero derivado de la industria láctea es básicamente un residuo líquido que, según Vázquez et. al., (2009), contiene en un aproximado de 50% de los nutrientes de la leche. Para producir un kilogramo de queso se produce de 8 a 10 litros de suero. Como residuo de la industria de la leche, se tiene dos tipos de suero, el suero dulce y el suero ácido, el suero dulce procede de la coagulación enzimática y el suero ácido se genera por la coagulación de la leche mediante acidificación debido a cultivos lácticos o ácidos orgánicos.

El lactosuero es un sustrato energético con alto contenido de lactosa y materia orgánica; se puede utilizar en procesos fermentativos para obtener etanol, en la generación de biogás a través de la digestión anaerobia, la obtención de hidrógeno a través de la fermentación oscura o la combinación de las dos etapas para la obtención de hidrogeno y biogás (Martínez et al, 2016).

El vertido de suero de queso a los cuerpos de agua o al medio ambiente genera un grave problema ambiental debido al alto contenido de materia orgánica, aproximadamente del 40 al 60% de los sólidos totales es lactosa (Prazeres et al., 2012), esta situación ocasiona una elevada demanda de oxígeno (DQO), de 60 a 80 g/l y por lo tanto una demanda bioquímica de oxígeno de 30 a 50 g/l (Spalatelu, 2012) para generar su degradación. El vertimiento de suero a las fuentes de agua provoca un acelerado consumo de oxígeno ocasionando la salinización, eutrofización, generación de malos olores, generación de jabón y acidificación (Prazeres et al., 2013). Una alternativa de bajo costo es la codigestión del suero junto a otros desechos como el estiércol de ganado. La sinergia de las mezclas sometidas a codigestión anaeróbica eleva los rendimientos en comparación a la digestión independiente de cada sustrato (Bella y Rao, 2021).

La digestión anaeróbica es una tecnología fácil y de bajo costo, que permite reducir la carga orgánica del suero de queso y generar subproductos, como biogás y biofertilizante. Pero, si el suero de queso contiene o se produce altas concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) durante la acidogénesis de lactosa no controlada, esto disminuye el rendimiento de metano llegando incluso a la inhibición de la digestión anaeróbica (Charalambous et al., 2020). Para evitar estas situaciones, se desarrollan estudios dirigidos a complementar el proceso de digestión del ganado con aditivos, como enzimas, nutrientes y soportes para la adhesión de microorganismos (Abbas et al., 2021). El agregar estos suplementos permitirá un mayor incremento en la producción de biogás y por ende una degradación mayor de la materia orgánica (Chiappero et al., 2020 ).

Para evaluar la producción y utilización del suero de quesería, nos enfocamos en pequeñas plantas que elaboran quesos artesanales cuyos sub productos, como el suero de queso, se vierten directamente al medio ambiente. Por lo cual, el presente proyecto plantea alternativas de solución a la problemática ambiental, ocasionada por el lactosuero que se produce en la provincia de Espinar; al mismo tiempo se busca generar un valor económico agregado al suero de quesería y el estiércol bovino produciendo biogás mediante el proceso de codigestión. Además, la investigación establece una alternativa de solución a uno de los problemas que sucede en diversas zonas rurales de la región y el país con respecto al acceso a combustibles renovables.

Se planteó como pregunta general ¿Cómo influyen los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023? y como preguntas específicas: ¿Cómo se puede controlar los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023?; ¿Cómo varía la producción de biogás por efecto de las variaciones de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023?

El objetivo general de la investigación fue evaluar cómo influye el control de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023 y como objetivos específicos planteados fueron: realizar el control de los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023 y determinar la cantidad de biogás producido por efecto de las variaciones de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.

Mediante la presente investigación se determinó los parámetros y rangos adecuados para una eficiente producción de biogás, aprovechando el suero de quesería y estiércol de ganado bovino, que usualmente es vertido al medio

ambiente sin aplicar medidas de control. El trabajo se realizó en las condiciones medio ambientales de la provincia de Espinar del departamento del Cusco, que se caracteriza por tener bajas temperaturas durante gran parte del año, considerándose para el estudio un parámetro sensible y crítico.

La investigación se apoyó sobre una justificación práctica, ya que las pequeñas plantas queseras vierten el suero lácteo directamente a las fuentes de agua y medio ambiente provocando un daño al medio ambiente, como mencionan Najafpour et al. 2010 y Rico et al. 2015 debido a su alto contenido de materia orgánica y baja alcalinidad, la eliminación del lactosuero en cuerpos de agua y suelos provoca una importante fuente de contaminación ambiental; además los resultados de la investigación permiten contar con una alternativa para dar valor agregado al suero de queso y menguar la contaminación al medio ambiente. La justificación metodológica se sustentó en que el estudio se realizó en condiciones ambientales propias de la provincia de Espinar, aprovechando el sinergismo del suero de queso y el estiércol bovino que según Jaimes - Estévez et al. (2022) brinda estabilidad al sistema y mejora los rendimientos con un fuerte aumento de la actividad metanogénica. La justificación social se basó en que la producción de queso se viene incrementando a nivel de la provincia de Espinar y como consecuencia se genera daño al medio ambiente por el vertido directo de los residuos de quesería.

Se planteó como hipótesis general: un adecuado control de los parámetros mejora el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023. Como hipótesis específicas de la investigación se tiene: Se puede controlar algunos parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023; y la producción de biogás mejora si hay un adecuado control y manejo de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

Liakos et al. (2023) realizaron el estudio que trata sobre la influencia del hidrocarbón durante la digestión anaerobia. En dicha investigación se realizó un tratamiento hidrotérmico para obtener hidrocarbón fenólico, el cual se utilizó en la digestión anaeróbica de aguas residuales de suero de queso para estudiar el efecto que causa en la producción de biogás y ácidos grasos volátiles. Además, esta investigación se centró en el efecto de los hidrocarburos en la calidad de los productos, es decir, biogás y ácidos volátiles. Los hidrochares de lodos de vino y aguas residuales de almazara tenían valores caloríficos altos (28,05 MJ/kg y 26,55 MJ/kg respectivamente), el proceso de la adición de hidrochar de lodos de vino condujo a una mayor producción de biogás (hasta 211 ml/g VS) pero también resulta que mitigó la producción de biogás en concentraciones más altas. Se demostró a través de este estudio que el hidrocarbón ayuda en la producción de AGV de cadena media, específicamente ácido heptanoico, isocaproico y caproico.

Bella, Pilli y Venkateswara (2023), realizaron el estudio donde observaron que en la composición del suero de queso se tiene la lactosa el cual muestra dificultades durante su degradación en procesos comunes, por lo que en el estudio el suero de queso se sometió a ultrasonicación, ozonización e hidrólisis enzimática y se valuó la disponibilidad de materia orgánica y producción de biogás. Durante el pretratamiento la entrada de energía específica varió de 2130 a 8773 KJ/KgTS con un tiempo de sonicación de 4,5–18,5 min, se aplicó ozono ( $O_3$ /gTS durante 4–16 min, pH (3,8–7,1), temperatura (35 °C–55°C), la dosis de enzima (0,18–0,52 %), se operó de 7,75 a 53 min para la hidrólisis enzimática por  $\beta$ -galactosidasa. Según los resultados se tuvo una solubilización máxima de dosis de ozono ( $O_3$ ) entre 0,03 y 0,045 de 77,15 % a los 18,5 min de operación, así mismo los valores correspondientes para ozonización fue de 64.8 % a los 16 min y métodos enzimáticos fueron de 54,79 %. La hidrólisis de proteínas y lactosa mostro tasas de degradación de la materia orgánica de 68,78%, 46,03%; 47,83%, 16,15% y 54,22%, 86,2% respectivamente, para US, ozonización y métodos

enzimáticos. La producción acumulada de metano para muestras sonicadas, ozonizadas e hidrolizadas enzimáticamente fue de 412,4 ml/g VS, 361,2 ml/g VS y 432,3 mlCH<sub>4</sub>/gVS, respectivamente. El pretratamiento enzimático generó la máxima producción de metano en comparación con la ultrasonicación y la ozonización. Este resultado puede deberse al incremento de la actividad de la  $\beta$ -galactosidasa en la hidrólisis de lactosa de suero.

Zieliński et al. (2023) en esta investigación buscaron incrementar la eficiencia de biodegradación anaeróbica y la producción de biogás por lo cual se planteó un diseño de biorreactor de flujo de laberinto anaeróbico híbrido a escala de planta piloto. También se ha planteado la recirculación de efluentes para mejorar el tratamiento de aguas residuales lácteas. Los resultados arrojaron que una tasa de carga orgánica (OLR) de 4,0–8,0 g DQO/L/d contribuyó al mayor rendimiento de CH<sub>4</sub> de  $0,18 \pm 0,01$ – $0,23 \pm 0,02$  L CH<sub>4</sub>/g DQO eliminado, lo que corresponde a una alta eliminación de DQO de  $87,5 \pm 2,8$ – $94,1 \pm 1,3\%$ . Se observó una distribución uniforme de los filos de microorganismos lo que favorece la mayor producción de biogás. Las muestras analizadas tuvieron mayor cantidad de *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, y *Archaea*. Sobre la producción de metano se observó que hay un mayor rendimiento en la fase de metanogénesis acetoclástica; pero, la metanogénesis hidrogenotrófica mejorada tuvo mejor tasa de carga orgánica (OLR). La recirculación de efluentes mejoró el tratamiento general. Así, a OLR de 10,0 g DQO/L/d, la mayor eliminación de DQO fue de  $89,2 \pm 0,4 \%$ , y el rendimiento de producción de metano alcanzó  $0,20 \pm 0,01$  L CH<sub>4</sub>/g DQO eliminado, que fue un 25 % superior en comparación con los logros sin recirculación.

Bella y Venkateswara (2022) en la investigación desarrollada por los autores, se estudió la digestibilidad del suero de queso junto con cosustratos de estiércol de ganado, lodos de depuradora y lodo anaerobio aclimatado. Los ensayos para producción de metano se efectuaron a temperatura mesófila y se aplicó el modelo Gompertz modificado para validar los resultados. Se evaluó las capacidades de digestión individual y combinada en la codigestión



anaeróbica de suero con tres fuentes de inóculo (estiércol de ganado, lodos de depuradora, y lodo anaeróbico aclimatado). Los resultados arrojaron que el estiércol de ganado es un excelente cosustrato que se adapta mejor con el suero de queso determinando que la relación de mezcla óptima era 40:60, los resultados muestran que el estiércol de ganado tiene mayor producción de biogás (342,22 ml/gVS) con una fracción de suero del 60 %. Se obtuvieron tiempos de fase de latencia comparativamente más altos que oscilaron entre 1,98 y 4,35 días para las aguas residuales se obtuvo con una fracción de suero del 60 % (369,63 ± 4,05 ml/gVS) con un tiempo de retraso muy corto de 0,76 ± 0,17 días para la mezcla inoculada con estiércol de ganado.

Los investigadores Jaimes - Estévez et al. (2022) realizaron un estudio donde se tuvo como objetivo observar la codigestión anaeróbica entre el suero de queso (CW) y el estiércol de ganado (CM), realizado en ensayos de laboratorio donde se evaluó el potencial de biometano (BMP), además se realizó la observación de un digestor anaeróbico a temperaturas psicrófilas, como parte del estudio se evaluó el impacto en las comunidades aledañas. Los resultados obtenidos muestran que la digestión de suero de queso (CW) a 15 °C sufre inhibición, mientras que la codigestión de suero de queso y estiércol de ganado (CW:CM) (70:30 sólidos volátiles - base VS-) a temperatura similar es favorable puesto que genera 0,24 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS (35 °C rendimiento: 0,60 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS). Se evaluó los resultados en un digestor de granja de 8 m<sup>3</sup>, operado a 17,7 °C, en el cual se produjo 0,42 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS, 0.31 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> con una tasa de carga orgánica de 0,61 kg VS/m<sup>3</sup> (CW:DM 54:46). Se observa que las actividades metabólicas del digestor no se inhiben a pesar de una alta carga de ácidos grasos volátiles (AGV). El consumo de AGV estuvo alrededor de 96,45 ± 2,25 %. Como parte del estudio se observó que la generación de biogás reemplazo la utilización de madera y redujo el consumo de propano en un 33 %. A pesar de los resultados todavía hay aspectos sobre la prueba psicrófila BMP que deben evaluarse.

Según Madrigal et al. (2022) quienes realizaron el estudio referido al uso de biocarbón de estiércol bovino como aditivo para mejorar la digestión

anaeróbica del suero de queso, estudio desarrollado en la localidad de Juliaca, Puno, Perú. En dicho estudio mencionan que la industria del queso genera suero de queso puro y estiércol bovino, ambos insumos tienen un contenido alto de materia orgánica que es capaz de generar daños ambientales severos. Los impactos negativos que pueden generar pueden ser atenuados mediante la digestión anaeróbica; pero, la digestión anaerobia solo de suero de queso se inhibe (163,1 ml de CH<sub>4</sub>) en la producción de metano lo cual ha sido evaluado mediante la prueba del potencial bioquímico de metano (BMP). Una forma de evitar la inhibición de la digestión anaerobia es agregar biocarbón. Este estudio se planteó como objetivo evaluar los efectos del biocarbón de estiércol bovino (0 – 2 g biocarbón/g VS sustrato de biochar/g VS el sustrato fue 358.4 mL CH<sub>4</sub>/g VS<sub>add</sub>). Se observó que el biocarbón de estiércol bovino contribuye a la estabilidad del proceso de digestión anaerobia demostrándose la viabilidad energética y económica.

Gensollen et al. (2022) realizaron el estudio sobre el proceso de digestión anaerobia discontinuo de dos etapas utilizando estiércol de vaca, lodos de matadero, suero de queso y vainitas verdes. Se evaluó el efecto de la regulación del pH (de 4,5 a 7) en condiciones mesófilas sobre las rutas metabólicas y la población microbiana que actúa en la primera etapa del proceso. Como resultado del estudio se observó que con un pH inferior a 5, ocurrió la fermentación que ocasionó la acumulación de ácido láctico con predominio de *Lactobacillus*. Por otra parte, con pH mayor a 5,5 ocurrió una fermentación oscura o láctica; en el cual la producción de ácido láctico se convirtió en ácidos grasos volátiles. Se observó que en la conversión láctica actuaron los *Streptococcus* a un pH 5,5 y los *Enterococcus* actuaron a pH 7. En el rango de pH de 5,5 a 7 la producción de hidrógeno fue débil. Al margen de los ácidos grasos producidos en la primera etapa, la fermentación oscura o láctica no produjo una mayor cantidad de metano en la segunda etapa. Pero, la fermentación oscura incrementó la concentración de metano de 63,1 % en una sola etapa al 83,6 % en el biogás.

Poloni et al. (2022), realizaron la investigación que tuvo como objetivo determinar la eficiencia para tratar el lactosuero y la producción de bioenergía en un sistema de una o dos etapas de un reactor anaerobio de biopelícula secuenciado y alimentado por lotes (AnSBBR). Los resultados arrojados muestran que a 55 °C y 15 kg-COD/m<sup>3</sup>/d con una eliminación de materia orgánica del 96%, una productividad de metano de 142,9 mol-CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>/d, y un rendimiento de 10,3 mol-CH<sub>4</sub>.kg-COD<sup>-1</sup>. Por otra parte, sobre el análisis de la temperatura se observó que influye de manera decidida en la diversidad de la población microbiana, mostrando una relación inversa con el género *Methanosarcina*. Como parte del estudio se vio que para tratar el lactosuero de una industria láctea que genera 3,4 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>-suero/año, se requeriría un sistema de digestión anaerobia de una sola etapa de 80,0 m<sup>3</sup>, que generaría una potencia de 75,1 kW y un rendimiento energético de 9,89 MJ.kg-COD<sup>-1</sup>. Pero un sistema de dos etapas para la misma industria láctea tendría un volumen total de trabajo de 134,9 m<sup>3</sup>, combinando reactores acidogénicos termófilos y reactores metanogénicos mesófilos, con una potencia de 39,1 kW y un rendimiento energético de 5,14 MJ.kg-COD<sup>-1</sup>.

Abdalá et al. (2022), en este estudio se evaluó la digestión anaerobia a escala de laboratorio en recipientes de 2,25 litros, en mono y codigestión de las aguas residuales de suero de queso (CWW) y de matadero de aves PSW). Los tratamientos fueron de: solo CWW (R1), solo PSW (R2), mezcla 75:25 de CWW:PSW (R3), mezcla 25:75 CWW:PSW (R4), y mezcla 50:50 de CWW:PSW (R5). Los resultados mostraron que el tratamiento de R4 (mezcla de 25% de CWW y 75% de PSW) es más eficiente, con una biodegradabilidad media del 84%, superior a los tratamientos R1 y R2, con 68,5 y 71,9%, respectivamente. También el tratamiento R4 produjo mayor cantidad media de metano acumulado en comparación con R1 y R2, con 1,22× y 1,39× para una carga de DQO similar respectivamente. Se utilizó el modelo de Gompertz modificado para determinar la producción de metano. Los análisis PCoA y heatmap de las cantidades microbianas indicaron una divergencia de las poblaciones microbianas. Al análisis de la población microbiana se observó que el género *Petrimonas* presentó mayor abundancia relativa (AR) de hasta

38,9 % en los dos primeros ciclos y posteriormente bajo cerca al 0% en todos los reactores. En los reactores PSW las *Syntrophomonas* fueron abundantes alcanzando hasta un 36 % de AR. En los reactores CWW se observó más que todo los *Acinetobacter* con un RA que llegaba al 56,5%. La población metanogénica estaba dominada por *Methanothrix* (84,3 - 99,9 % de las arqueas).

De Souza et al. (2022), realizaron un estudio donde se evaluó el incremento de la tasa de carga orgánica OLR y su efecto en la codigestión de suero de queso y glicerol en un reactor anaerobio termofílico de lecho fluidizado (AFBR), para el estudio se varió la concentración del influente y el tiempo de retención hidráulica (TRH). El aumento de la OLR de 5 a 20 gCOD/L/d se efectuó aumentando progresivamente la concentración del influente de 5 a 7.5, 10, 15 y 20 gCOD/L, con un TRH de 24 h. La eliminación de materia orgánica (87,7%), el rendimiento de metano (MY) (253,0 mL CH<sub>4</sub>.gCOD<sup>-1</sup>rem) y la tasa de producción de metano (MPR) (3,2 L CH<sub>4</sub>/L/d) mostraron el mejor rendimiento a 10 gCOD/L/d. Por el contrario, el incremento de la OLR a 20 gCOD/L incrementó la acumulación de ácidos grasos volátiles, lo que dio lugar a una disminución del 38,5% del rendimiento de metano. En razón a los resultados obtenidos, el TRH se disminuyó de 24 h a 20 h y 16 h con una concentración de afluente de 10 gCOD/L, lo que dio lugar a una OLR de 10, 12 y 15 gCOD/L/d, respectivamente. El TRH a 20 h (12 gCOD/L/d) generó las altas cantidades de MY (alrededor de 292,5 mL CH<sub>4</sub>.gCOD<sup>-1</sup>rem), mientras que el máximo MPR se observó a 16 h (5,1 L CH<sub>4</sub>/L/d).

De acuerdo al estudio de Jordán Y. (2021) titulado “Generación de biogás y biol con mezcla del suero salado de queserías y estiércol de cuy en Canta – Perú”; el estudio fue realizado en la cuenca del río Chillón. La investigación tenía como fin dar valor a dos sub productos orgánicos como es el suero salado de quesería y estiércol de cuy, con el fin de producir biogás y biol, al mismo tiempo contribuir con la generación de electricidad partiendo de sub productos orgánicos. Se plantearon cinco tratamientos con diversas cantidades de suero salado y estiércol de cuy. En los resultados se tiene que

el tiempo de retención medido en días fueron de 164 para biol y 61 para biogás. Se analizó las variaciones del pH, temperatura y conductividad eléctrica del biogás. Los resultados del biol arrojaron que los coliformes fecales se presentaron  $< 10$  NMP/ml. Sobre el ensayo de fitotoxicidad utilizando semillas de alfalfa, se tuvo valores elevados de IG a diluciones de 1%, 0.1% y 0.01% en todos los tratamientos; pero en el T3 y T5 arrojaron valores elevados de hasta 10%. En conclusión, se observó mayor producción incremento de la producción de biogás en el T2, así también se apreció valores elevados de IG y macronutrientes en el T4, también se observó ausencia de coliformes por lo que se puede considerar como un buen abono que puede ser utilizado para el cultivo de alfalfa.

Cisneros de la Cueva et al. (2021) desarrollaron la investigación titulada “Optimización de las variables del proceso de digestión anaerobia de lactosuero en la producción de biogás”; el estudio fue realizado en la localidad de Torreón, Coahuila, México con el fin de disminuir la utilización de combustibles fósiles y contar con biogás a precios razonables que compitan en el mercado energético. Gracias a esta investigación concluyeron que la producción de biogás y rendimiento de metano aumentan si se optimiza las variables durante la digestión anaeróbica. Algunas variables tales como concentración de inóculo, pH y concentración de sustrato, han sido evaluadas y optimizadas a través de un diseño central compuesto. Los resultados obtenidos muestran que el rendimiento máximo de metano ( $469.75 \pm 3.25$  mL CH<sub>4</sub>/g SV) se genera en condiciones óptimas llegando a una producción de biogás de  $331 \pm 1.13$  mL. Los resultados de las variables fueron las siguientes: concentración del inóculo de 22.4 g/L, concentración del sustrato de 24.6 g/L y pH de 7.1. la evaluación de los ácidos grasos volátiles da como resultado que la generación de metano en el biogás es a causa principalmente de la transformación metabólica del acetato a través de la metanogénesis acetoclástica. En conclusión, a la luz de los resultados se demuestra que, si se utiliza suero de quesería como sustrato y en condiciones óptimas se incrementa la producción de biogás.

Charalambous et al. (2020) desarrollaron un estudio en la localidad de Limassol, Chipre, dicho estudio tuvo los objetivos de señalar el rendimiento de un biorreactor de circulación interna de 140 m<sup>3</sup> para el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de derivados lácteos, el otro objetivo fue investigar el tratamiento anaeróbico del suero de queso utilizando como inóculo lodo granular a un pH de 5.0 a 6.0. Se trató las aguas residuales de derivados lácteos inoculando con lodo granular anaeróbico durante 91 días. Los resultados obtenidos muestran que la remoción promedio de DQO fue del 80% y el biogás promedio fue de 69,8 m<sup>3</sup> por DQO afluente/L por día. El lodo granular anaeróbico del biorreactor de circulación interna se expuso a pH 5 – 6 agregando ácido acético por 7 meses. Al lodo granular anaeróbico se agregó suero de queso generando metano en un 30 % más que con lodo granular no aclimatado, pero a un pH de 5 – 6. El ácido propiónico fue el factor limitante de la reacción para el lodo granular con un pH de 5 a 6. La digestión anaeróbica con un pH moderadamente bajo requirió un 68 % menos de NaOH (50 % v/v) por m<sup>3</sup> de suero de queso; pero, teóricamente puede producir un 53 % menos de kWh por día en comparación con la digestión a pH neutro.

Rico, et al. (2015) plasmaron un estudio donde es objetivo fue proponer un tratamiento que combine las ventajas de codigestión de suero de queso con estiércol y el corto tiempo de retención hidráulica. Se propuso el proceso de codigestión anaerobia consistente en un reactor UASB de una etapa con un sedimentador externo y reciclaje de efluentes para la suplementación de alcalinidad. Se realizó las pruebas con un tiempo de retención hidráulica TRH de 2,2 días y una proporción creciente de suero de queso en la alimentación, observándose que el sistema funciona de forma estable hasta una fracción de suero de queso del 75 % en la alimentación, con una tasa de carga orgánica aplicada de 19,4 kg DQO/m<sup>3</sup>/d, lográndose una remoción de DQO del 94,7% y una producción de metano de 6,4 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>/d. Se observó un lavado crítico de biomasa cuando la cantidad de suero de queso en la alimentación era del 85 %. Una alimentación constante de suero de queso del 60 % en la mezcla permitió un funcionamiento estable, con una tasa de carga orgánica de

28,7 kg DQO/ m<sup>3</sup>/d y 1,3 días TRH, con una eliminación de DQO del 95,1 % y una tasa de producción volumétrica de metano de 9,5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>/d.

Rico, Muñoz y Rico (2015), realizaron estudios sobre la codigestión anaeróbica mesófila del suero de queso y la fracción líquida filtrada del estiércol de ganado lechero, el objetivo de la investigación fue determinar cuál es la porción de suero de queso para la codigestión y la tasa de carga orgánica. Para el estudio se utilizó un reactor de tanque agitado continuo que se operó con un tiempo de retención hidráulica TRH de 15,6 días. Los resultados nos dieron a conocer que el proceso de codigestión es posible con suero de queso de hasta el 85 % en la mezcla; El proceso tuvo una eficiencia similar en el rango de suero de queso del 15 al 85%. Sobre el efecto que causa el tiempo de retención hidráulica TRH, se acortó progresivamente hasta una cantidad de suero de queso del 65 % en la mezcla. El reactor mostró caída en la eficiencia a medida que disminuía el TRH, permitiendo una operación estable durante 8,7 días de tiempo de retención hidráulica. Bajo estas condiciones de operación, se tuvo una producción de metano de 1,37 m<sup>3</sup>/CH<sub>4</sub>/d.

Según la Norma General del Codex Standard 206-1999, la leche consiste en la secreción mamaria de animales lecheros que se puede obtener a través del ordeño, sin adición o extracción de ningún tipo, que se destina al consumo como leche líquida o como producto de elaboración ulterior.

En referencia al producto lácteo, es considerado como el obtenido a través de cualquier procesamiento de la leche, que podría contener aditivos alimentarios u otros ingredientes necesarios para el procesamiento (FAO & OMS, 1999).

DIGESA, (2017) menciona que la calidad organoléptica se refiere al olor, color y sabor característico de la leche, que perciben los sentidos en campo o laboratorio. La evaluación sensorial consiste en pruebas que se realizan con los órganos de los sentidos. Permite establecer la calidad de la leche a través de su color, olor y aroma, según Buendía, M. (2015):

La leche fresca según INACAL, (2021), es el producto de la secreción mamaria sin adición ni sustracción de ningún componente y que se obtiene a través de uno o más ordeños, así mismo no debe haber sido sometido a ningún tratamiento o procesamiento.

Según la NTP 202.193 del INACAL (2020): el queso es el producto fresco o madurado, sólido o semisólido que se produce a través de: a) Coagulación de la leche entera, leche pasteurizada, leche parcialmente descremada, leche descremada, crema, crema de suero, suero de mantequilla o puede ser de la mezcla de cualquiera de estos insumos, por efecto del uso de coagulantes apropiados como cuajos, el queso procede del escurrimiento parcial del suero que se genera por efecto de la coagulación; b) Tecnologías de elaboración de quesos que involucra la coagulación de la leche y/o de los derivados obtenidos de la leche.

Según la NTP 202.193 del INACAL (2020), los quesos tienen la siguiente clasificación: De acuerdo a su consistencia y/o contenido de humedad tenemos quesos blandos o de elevada humedad; quesos semiduros o de mediana humedad, quesos duros o de baja humedad y quesos extraduros. De acuerdo con el contenido de materia grasa en el extracto seco tenemos queso extragrasso, queso grasso, queso semigrasso, queso semidescremado y queso descremado. De acuerdo con las características del proceso tenemos queso fresco, queso semimadurado, queso madurado y queso madurado por mohos.

El suero lácteo es un subproducto que proviene del procesamiento de quesos, lo compone diversos nutrientes como magnesio, sodio, fósforo, potasio y calcio; por lo que es considerado de un valor nutricional adecuado (Juliano et al., 2017).

Guereca et al. (2014) conceptualizan al suero lácteo como el líquido resultante de la coagulación de la leche, después de la separación de la caseína y grasa.



Fernández Rodríguez et al. (2016) mencionan que el lactosuero o suero de quesería, está compuesto de elevadas cantidades de materia orgánica. Así mismo, tales autores mencionan que, el suero de quesería representa aproximadamente el 85 – 95% del total de la leche utilizada en el procesamiento, además en este suero se ha estimado que todavía posee el 55% de los nutrientes. En el mismo sentido, Juliano et al. (2017), menciona que el suero dispone de azúcares, vitaminas, proteínas, sales minerales, entre otros componentes.

Existen dos tipos de suero lácteo, que se producen en diferentes etapas de la producción del queso. Como menciona Guereca et al. (2014) el suero de quesería tiene una composición influenciada por las características de la leche que se usa en el procesamiento y por el tipo de queso que se elabore. Así mismo, el mecanismo de coagulación es un factor preponderante; si se obtiene cuajo por medio de coagulación enzimática, se produce suero dulce con baja cantidad de calcio y valor de pH de 6.6. De otra parte, cuando el queso se produce por acidificación, se genera suero ácido cuyo valor del pH oscila entre 4.3 y 4.7 (Guereca et al., 2014).

El suero salado también se conoce como suero ácido o lactosuero ácido, este suero presenta menos lactosa en comparación al suero dulce, por lo que, el contenido de ácido láctico es elevado. Esto ocurre, porque la lactosa se transforma en ácido láctico por efecto de la fermentación bacteriana (Palatnik, 2019).

En el mismo sentido, Gutiérrez y Bastidas (2016) afirman que la cantidad de minerales, la composición de la fracción proteica y la acidez, son características que diferencian entre el suero dulce y el suero ácido.

**Tabla N° 1: Composición del suero dulce y suero ácido**

<b>Componente</b>	<b>Lactosuero dulce (g/L)</b>	<b>Lactosuero ácido (g/L)</b>
Sólidos totales	63.0 – 70.0	63.0 – 70.0
Lactosa	46.0 – 52.0	44.0 – 46.0
Proteínas	6.0 – 10.0	6.0 – 8.0
Grasa	0.5 – 7.0	0.4 – 6.0
Calcio	0.4 – 0.6	1.2 – 1.6
Fosfatos	1.0 – 3.0	2.0 – 4.5
Lactatos	2.0	6.4
Cloruros	1.1	1.1
pH	5.6 – 6.1	4.3 – 4.7

Al suero se considera como subproducto derivado de la leche, por esta razón posee una composición nutricional equilibrada, otorgándole un valor destacable para el uso en la generación de biogás (Juliano et al. 2017); se considera al suero de quesería como un líquido fluido, turbio y con un color verdoso amarillento. El suero tiene una escasa cantidad de sólidos suspendidos que varían entre 3 y 7 % (González et al., 2016).

Sobre la composición del suero, Guereca et al. (2014) y Juliano et al. (2017), mencionan que es una sustancia con grandes cantidades de vitamina C y del complejo B. también indican que, en relación al contenido de nutrientes, se encuentra en mayor cantidad la lactosa (45 – 50 g/l); los lípidos (4-5 g/l), proteínas solubles (6 – 8 g/l) y en menor cantidad las sales minerales (4 - 6 g/l).

Sobre las proteínas del suero de quesería Guereca et al. (2014), indican la presencia de lactoglobulina y lactoalbúmina. Sobre los aminoácidos, Gómez & Sánchez (2019) indican que la lisina (9%) y leucina (9.5%) se hallan en elevadas cantidades.

El suero constituye un recurso valioso para ser usado en diversas industrias. Al respecto Molero - Méndez, Castro - Albornoz, & Briñez - Zambrano (2017)

confirman que, el suero no debería denominarse como subproducto porque su calidad nutricional y energética es elevada. Además, destaca porque sus componentes poseen características sobresalientes para generar biogás.

González et al. (2016), acerca del valor energético, mencionan que el suero por su composición es usado para la generación de biogás. Así mismo, indican que el biogás generado del suero lácteo posee un porcentaje de metano que oscila alrededor del 60 al 80%. Sobre el mismo tema, Fernández Rodríguez et al. (2016), dicen que, la utilización del suero lácteo en los procesos de codigestión anaeróbica, constituye una alternativa para disminuir las dificultades que suceden por el contenido bajo de alcalinidad,

Sobre el uso agrícola del suero lácteo en labores agrícolas, Fernández Rodríguez et al. (2016) señalan que, debido a la cantidad de nutrientes y agua que son elevados, este líquido puede ser usado como fertilizante. Pero, esta debe ser monitoreado porque su contenido de grasas, sólidos y sales podría producir perjuicio a la estructura físico - química del suelo.

El suero lácteo o de quesería afecta al suelo, fuentes de agua y ecosistema, tal como se describe a continuación.

Si el suero de quesería es vertido directamente en las áreas de cultivo (previa dilución) por largos periodos de vertimientos, el contenido elevado de sal genera la salinización del suelo, por lo que descendería la producción agrícola, tal como manifiestan Pais Chanfrau et al. (2017). Al respecto, Barrera et al. (2017) menciona que el suero lácteo sin tratamiento y que es vertido al suelo, puede alterar el equilibrio de nutrientes.

Debido al alto valor de materia orgánica que posee el suero, es importante realizar una adecuada gestión, el vertido directo al suelo o a los medios acuáticos, se consideraría como un contaminante (Fernández Rodríguez et al., 2016).

Por la cantidad de nutrientes que componen el suero de quesería, en caso se viertan hacia el agua, ocasionan cargas contaminantes que afectarán la vida acuática. Al respecto González et al. (2016), menciona que la cantidad de suero lácteo generada en el procesamiento de queso representa la novena parte del volumen de leche utilizada, con un DQO aproximado de 60.000 mg/L, lo que lo convierte en un producto con elevada carga orgánica.

Juliano et al. (2017) menciona que 1000 litros de lactosuero echados al agua producen aproximadamente 68 kg de demanda química de oxígeno (DQO) y 35 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO).

Según González et al. (2016), mencionan que la elaboración de quesos constituye una importante fuente de contaminación por las grandes cantidades de suero generado, además, la cantidad de lactosa y proteína presentes, ocasionan la crecida en el nivel de contaminación de las aguas residuales. De la misma forma, Arias Chicaiza (2019) menciona que, el contenido de lactosa y grasa, provocan altos valores de DBO y DQO.

El vertimiento de suero de quesería al medio ambiente afecta al suelo, al agua y el aire. Es así, que en forma general los ecosistemas son afectados y por ende las especies que habitan en ella.

Sobre la afectación a los ecosistemas, Gómez & Sánchez (2019), mencionan que el tratamiento incorrecto del lactosuero reduce enormemente la concentración de oxígeno en aquellos afluentes donde se vierte. Sobre el tema, Brito et al. (2015) sostiene que, una vez que el suero es vertido al ambiente, la lactosa y proteínas contenidas en él, lo convierten en un contaminante. También, los mismos autores mencionan que esto se debe a la elevada cantidad de materia orgánica, lo que promueve un mayor desarrollo de microorganismos que producen cambios importantes en la DBO del agua contaminada. En razón a que los valores de la DBO son elevados, entre 30000 a 50000 mg/L, esta provoca que los procesos biológicos del agua se alteren (Brito et al., 2015).

Cuando el suero lácteo es vertido directamente a los cuerpos de agua, provoca eutrofización, toxicidad e impermeabilización, además de otras situaciones negativas en los ambientes receptores (Parra Huertas, 2015).

Sobre el estiércol, se ha realizado estudios sobre los valores energéticos, estableciéndose un orden según la generación de biogás, estiércol de vacuno, porcino y cuy, tal como lo menciona Tapia Tapia (2016); asimismo menciona que, es necesario la utilización de estiércol fresco, debido a que contiene bacterias activas que apoyan una mayor producción de biogás.

Acerca del estiércol, Karlsson et al. (2014), mencionan que el uso de este debería ser como biofertilizantes, por que, el estiércol se somete a la digestión anaerobia, una buena parte del nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal, que es absorbido más fácilmente por las plantas. El biofertilizante generado durante la digestión anaerobia disminuye el riesgo de lixiviación del nitrógeno en el terreno agrícola.

Sobre los excrementos de animales la FAO (2013), menciona que la acumulación de desechos orgánicos que no son sometidos a ningún tratamiento genera eutrofización en las aguas superficiales que a la larga constituye una amenaza hacia los ecosistemas acuáticos.

Karlsson et al. (2014) afirman que las excretas de ganado ocasionan un riesgo debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto en razón a que los desechos orgánicos llegan a degradarse en metano.

Como indican Barrena et al. (2017), las fincas agropecuarias emanan  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , estos gases generan el incremento de la temperatura de la superficie terrestre y por consiguiente dañan la capa de ozono. Los sistemas pecuarios producen metano por la digestión anaeróbica de la materia orgánica, tratamientos anaeróbicos de los residuos animales, presencia de excrementos en las pasturas y quema de biomasa.

Según Nogués, García, & Rezeau (2010), al agregar grandes cantidades de excreta orgánica, este puede sobrepasar la capacidad de degradarlo por parte del ecosistema, provocando la alteración del ecosistema y condiciones de vida requeridas para el desarrollo natural de los seres vivos. Al respecto el Ministerio del Ambiente (2014), afirma que, el desarrollo de trabajos agropecuarios y agroindustriales provocan presiones que afectan los recursos naturales y el ambiente.

Según Carrasco Allendes (2015), el proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica genera principalmente el biogás, que a su vez está integrado por un conjunto de gases. Siendo estos compuestos principalmente el CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, la proporción de estos gases está en función al tipo de insumo utilizado y al tipo de proceso. Rajlakshmi et al. (2023) mencionan que la digestión anaeróbica utilizando dos o más sustratos de forma simultánea es efectiva para solucionar los problemas que se presentan en la monodigestión, la mezcla de sustratos confiere una mayor estabilidad de la digestión, mayor capacidad de amortiguación, mayor rendimiento de biogás y variabilidad del sustrato; en la misma línea la FAO (2019) asevera que la codigestión constituye en una herramienta que permite mejorar la eficiencia de la digestión de los materiales, maximizar la generación de biogás y optimizar la calidad de los biofertilizantes.

Por otra parte, Warnars y Oppenoorth (2014), sobre la combustión del biogás mencionan que genera una llama no tóxica y sin humo.

Para aprovechar al máximo la digestión anaeróbica debemos conocer sobre los parámetros fundamentales del proceso como pH, temperatura, relación C/N, OLR, TRH, alcalinidad y concentración de AGV; estos parámetros influyen en el rendimiento de la digestión anaeróbica. Controlar estos parámetros es importante debido a que cualquier desviación de sus niveles óptimos puede llegar a detener todo el proceso (Neshat et al. 2017).

Rajlakshmi et al. (2023) mencionan que para mejorar la eficiencia de la codigestión se tiene importantes parámetros como son pH, temperatura, salinidad, propiedades del inóculo, relación carbono nitrógeno C/N, contenido de sólidos en la materia prima, tasa de carga orgánica OLR y tiempo de retención hidráulica HRT, características del sustrato, acumulación de ácidos grasos volátiles, inóculo, comunidades microbianas, métodos de tratamiento, las cuales se pueden observar en la siguiente figura:

**Figura N° 1: Factores que rigen el rendimiento del proceso de codigestión de residuos**



Según la FAO (2019), se tiene importantes factores que influyen en la composición química del biogás los cuales son: el sustrato orgánico, la temperatura del proceso y la tecnología empleada. También indica que los componentes principales del biogás son: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), H<sub>2</sub>, nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>), O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O; los componentes se aprecian en la siguiente tabla.

**Tabla N° 2: Composición Química del Biogás**

<b>Componente</b>	<b>Definición</b>
CH <sub>4</sub>	Concentración de 45% a 70% molar; considerándose como biogás inflamable cuando la concentración llega al 45%.
CO <sub>2</sub>	La concentración se halla entre 25% a 45% molar; siendo considerado el segundo gas con mayor importancia.
H <sub>2</sub> S	Se considera como un gas tóxico que afecta a humanos y animales. Tiene la característica de ser altamente corrosivo, motivo por el cual debe eliminarse del biogás para no afectar la vida útil de los equipos. En el análisis de una muestra cruda de biogás, la proporción de este gas varía entre 5 000 y 50 000 partes por millón (ppm).
H <sub>2</sub>	En su mayoría, el H <sub>2</sub> se encuentra en concentraciones menores a 5000 ppm.
N <sub>2</sub>	Si el biogás se obtiene de materiales de rellenos sanitarios, se puede observar concentraciones de 25% molar como máximo valor; pero en el biogás procedente de biodigestores, la concentración no excederá el 5% molar.
O <sub>2</sub>	El O <sub>2</sub> presente en el biogás presenta una concentración máxima de 5% molar.
H <sub>2</sub> O	En el biogás es usual la presencia de vapor de agua, sobre todo en procesos termofílicos.

Según Martí-Herrero et al. (2016), la utilización del biogás es diversa, pudiendo utilizarse como combustible en cocinas, iluminación, en la calefacción o como insumo para motores que genere electricidad. También, Warnars y Oppenoorth (2014), mencionan que el uso de biogás como combustible genera diversos beneficios, como reemplazo de la leña, el carbón y combustibles como el kerosene; así mismo genera trabajo, disminuye la utilización de combustible para cocina e incrementa el uso de combustible limpio.



Redagícola (2017) afirma en sus publicaciones que los recursos para generar biogás son variados; destacando el estiércol de animales, purines, residuos de las actividades agrícolas e industriales, entre otros.

El uso de biogás produce algunas ventajas medioambientales que han sido descritas por Bontempo et al. (2016) quienes afirman que este proceso disminuye las emisiones descontroladas de gases de efecto invernadero, provenientes de la acumulación de restos orgánicos. En el mismo sentido Arhoun (2017) menciona que el biogás resta las emisiones de GEI, constituyendo una importante alternativa en el camino a la sustitución de los combustibles fósiles.

Como menciona Barrena et al. (2017), la utilización de biogás posibilita disminuir en 25 veces la potencia del metano como gas de efecto invernadero. Así mismo, Juliano et al. (2017) afirman que, al tener un contenido de CH<sub>4</sub> de 65% y CO<sub>2</sub> de 35%, se logra un valor energético aproximado de 6.5 y 7.0 kWh, los mismos que son apreciables en la siguiente tabla.

**Tabla N° 3: Características generales de composición de 1 m<sup>3</sup> biogás**

<b>Características</b>	<b>Contenido</b>
Composición	Metano (CH <sub>4</sub> ) 55-70% Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) 30-45% Trazas de otros gases (H <sub>2</sub> O, SH <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> )
Contenido energético	6.5 – 7 kW.h.
Poder calorífico	5500 – 6000 Kcal.
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 l de gasoil/m <sup>3</sup> 0.3 kg de carbón /m <sup>3</sup> 0.6 m <sup>3</sup> de gas natural/m <sup>3</sup>
Densidad normal	1.2 kg. m <sup>3</sup>
Olor	Típico sulfhídrico (el olor del biogás desulfurado es imperceptible).

Como menciona Solera del Río et al. (2014) la biometanización o digestión anaerobia se trata de un proceso biológico en ausencia de oxígeno, en el cual los microorganismos (bacterias y arqueas) descomponen la materia orgánica compleja, dando lugar al biogás como producto final y como residuo un digerido orgánico. El Ministerio del Ambiente (2015) menciona que en la digestión anaerobia suceden diferentes etapas, y en cada etapa participan diferentes colonias de bacterias que se encuentran en el estiércol fresco de los animales.

Martí-Herrero et al. (2016) afirman que las diversas colonias bacterianas que se encuentran en el estiércol provocan la digestión anaerobia, por lo que, es más conveniente utilizar estos residuos. Al respecto Arhoun (2017) menciona que, la digestión anaerobia es un proceso biológico adecuado para el tratamiento del estiércol, residuos de la industria agroalimentaria y otros.

Sobre la conversión de residuos, la digestión anaerobia nos permite obtener biogás como sub producto de diversos residuos como es el caso de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Mantilla et al. 2017).

La materia orgánica normalmente posee patógenos, por lo que su eliminación se produce debido a que los procesos bioquímicos suceden a elevadas temperaturas, los patógenos se eliminan durante la digestión anaerobia, y en caso de realizar los procesos a temperaturas mesófilas, el tiempo de retención hidráulica prolongado es generalmente suficiente para la inactivación de ellas (Arhoun 2017).

El proceso de digestión anaerobia está constituido por cuatro etapas: en la 1° etapa del proceso (hidrólisis), las moléculas complejas (carbohidratos, lípidos y proteínas) se descomponen. En la 2° etapa, denominada acidogénesis, los productos descompuestos en la hidrólisis generan compuestos solubles. En la 3° etapa denominada acetogénesis, se generan alcoholes, ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono e hidrógeno, en la 4° etapa denominada

metanogénesis, se produce el metano (Instituto de Desarrollo Agropecuario & Gobierno Regional de Los Ríos, 2016).

Reyes (2017) afirma que cada sustrato usado en la biodigestión anaerobia tiene una composición química y naturaleza diferente; esta condición influye en el tipo de población bacteriana. También afirma que la presencia de cualquier tipo de tóxico en cualquier etapa afecta a las poblaciones bacterianas. En el mismo sentido, la FAO (2011) afirma que las características particulares de la materia que se usará influyen en la cantidad y calidad de biogás producido.

El alimento y el tipo de digestión de los animales influyen en la cantidad de biogás producido; afirmando que el tipo de estiércol elegido genera diferente potencial de producción (Ministerio del Ambiente 2015).

Al analizar la temperatura en el proceso de digestión anaerobia Tapia Tapia (2016), indica que la actividad biológica es dependiente de la temperatura, por tanto, la producción de biogás está sujeta a este factor; también manifiesta que el proceso de degradación anaeróbica se produce entre 3 °C y 70°C. En el mismo sentido la FAO (2011), menciona que la velocidad de reacción de los procesos biológicos está relacionada con la velocidad de crecimiento de los microorganismos. Los microorganismos son dependientes de la temperatura, por lo que, si incrementamos la temperatura, la velocidad multiplicación de las bacterias se incrementa, ocasionando la aceleración del proceso y por ende generando mayores cantidades de biogás.

Martí, Pino, & Víquez (2017) afirman que se ha clasificado en tres rangos de temperaturas, en los que actúan las colonias bacterianas: temperatura psicrófilo (de 10 °C a 20 °C – 25 °C), mesófilo (de 20 °C - 25 °C a 35 °C – 40 °C) y termófilo (de 35 °C - 40 °C a 70 °C - 75 °C); afirmando que, si se incrementa la temperatura las bacterias trabajarán en menor tiempo.

Por otra parte, como afirma la FAO (2019), existen diversas poblaciones de microorganismos en los diferentes rangos de temperatura; también menciona que trabajar a elevadas temperaturas no es sumamente importante; sino más bien la preocupación debe estar en mantener una temperatura estable donde la temperatura no varíe, las colonias de microorganismos se verán afectadas en caso de que la temperatura varíe.

Sobre el tiempo de retención hidráulica (TRH), Martí et al. (2017) menciona que este parámetro se define como el tiempo medido en el cual las bacterias actúan sobre un sustrato, también lo define como el tiempo de estancamiento que una biomasa permanece desde que ingresa al digestor hasta su salida. La velocidad de degradación está sujeta a la temperatura; al tener una mayor temperatura, será menor el tiempo de retención (FAO 2011).

Mantilla et al., 2017 menciona que el TRH con el que se trabaja tiene valores de 20 a 55 días). Sin embargo, FAO (2019) menciona que en un rango psicofílico para producir un determinado volumen de biogás se necesita un tiempo de retención hidráulica (TRH) mayor que al trabajar en condiciones mesofílicas o termofílica; afirmando que las cifras de TRH varían de acuerdo a la temperatura. Los rangos de temperatura se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4: Tiempo de retención hidráulica según rangos de temperatura**

Rango de temperatura	TRH
Psicofílico	De 50 a 120 días
Mesofílico	De 25 a 50 días
Termofílico	De 15 a 25 días

La FAO (2019) publicó informes sobre la relación carbono/nitrógeno (C/N), mencionando que la proporción del carbono y del nitrógeno en una biomasa orgánica, se expresa por medio del parámetro relación C/N. tanto el carbono como el nitrógeno son esenciales en los procesos biológicos, por cuanto el

carbono está asociado con la generación de energía y el nitrógeno está asociado con el crecimiento celular.

Sobre la relación carbono/nitrógeno, Tapia Tapia (2016) menciona que una relación aceptable es de 25 – 30; es decir, el carbono debes estar entre 25 – 30 partes y el nitrógeno en una parte (25-30/1, C/N). Sobre el mismo tema, Karlsson et al. (2014) comentan que es sumamente importante que la relación C/N no se encuentra demasiado baja, en todo caso es preferible que la proporción de nitrógeno sea inferior a la cantidad de carbono.

Con respecto al pH, la FAO (2019), define al pH como una medida de la acidez o alcalinidad de un determinado compuesto, el pH está relacionado con la generación y degradación de ácidos, así como con la actividad de iones de hidrógeno dentro del biodigestor. También se afirma que este parámetro (pH) es utilizado para evaluar el sistema de biodigestión (FAO 2011).

Conociendo que existen diversas poblaciones bacterianas en cada etapa del proceso de digestión anaerobia, estos grupos actúan a niveles óptimos cuando el pH está aproximándose a la neutralidad. Durante la etapa de acidogénesis, el valor adecuado óptimo se halla entre 5.5 y 6.5; así mismo en la etapa de metanogénesis el valor óptimo es entre 7.8 y 8.2 (FAO 2011). Por otra parte, según Díaz Báez, Molina & Espitia Vargas (2002) mencionan que cuando el pH baja los ácidos grasos volátiles (AGV) alcanzan su forma ionizada (estado tóxico) ocasionando que el biogás producido tenga cantidades disminuidas de metano y por tanto sus cualidades energéticas sean inferiores.

Acerca del factor agitación, la FAO (2019), señala que el ritmo de agitación está relacionado con la proporción de materia seca de una determinada mezcla; afirmando que una mayor cantidad de materia seca en el biodigestor requiere mayores cuidados de los sistemas de mezcla y agitación.

Sobre la agitación también la FAO (2011), manifiesta que mediante este procedimiento se espera desplazar los metabolitos generados durante la etapa de metanogénesis. Otro beneficio de la agitación es que ayuda a ocupar todo el espacio al interior del biodigestor, provocando una distribución bacteriana homogénea en todo el espacio. Al respecto, Arhoun (2017) y Fernández García (2016) mencionan que la excesiva agitación ocasionaría la destrucción de las colonias bacterianas provocando reducción de la producción de biogás.

Acerca del contenido de sólidos totales, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2013) mencionan que de acuerdo al incremento de la cantidad de sólidos totales en el efluente se afecta la movilidad de las bacterias metanogénicas, esta situación puede ocasionar rendimientos bajos de la producción de biogás. Para el uso de digestores semicontinuos la cantidad óptima de sólidos totales debe oscilar entre 8% a 12%; en el caso que se use digestores discontinuos la cantidad de sólidos totales debe estar entre un 40% a 60%, estos porcentajes aseguran un adecuado funcionamiento del proceso.

Con respecto a los invernaderos, Zanabria (2001) lo considera como un sistema complejo a través del cual se crea un microclima (efecto invernadero), que permite mejorar la inercia térmica en zonas donde las condiciones ambientales no lo permiten. En los invernaderos el material más empleado es el polietileno térmico y estabilizado, este plástico ayuda a que el invernadero no se enfríe, además que tienen propiedades contra la radiación ultravioleta, desde el punto de vista económico es de menor costo en comparación al vidrio.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Como tipo de investigación que se plantea es la investigación aplicada, al respecto del cual Carrasco (2005) menciona que se caracteriza por asumir propósitos prácticos inmediatos apropiadamente definidos, en otras palabras, se investiga en un determinado sector de la realidad para actuar, transformar, modificar o producir cambios.

La investigación será de diseño experimental, específicamente experimental puro, que como menciona Hernández y col. (2014) se lleva a cabo intencionalmente la manipulación de las variables independientes y por consiguiente la medición de las variables dependientes, así como el control y validez de la información.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

Se considera como variables independientes a aquellas que ejercen influencia, causan efecto o determinan a otras variables denominadas como dependientes, para el caso del proyecto son:

- Parámetros del proceso de codigestión anaerobia (Relación carbono nitrógeno, cantidad de sólidos totales, pH, temperatura, agitación, tiempo de retención hidráulica TRH).

La variable dependiente, se refiere a aquella que recibe la influencia, el efecto, o son consecuencia de otras variables o situaciones fácticas, es decir son las que se explican en función a otras (Carrasco, 2005). Para nuestro estudio, la variable dependiente es:

- Producción de biogás.

Con respecto a la operacionalización de variables, Carrasco, (2005) afirma que es un proceso metodológico que se sustenta en

descomponer o desagregar deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a los más específico; bajo esta premisa se muestra la operacionalización de las variables en la tabla N° 5.

**Tabla N° 5: Operacionalización de variables**

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA
<b>Variable dependiente:</b> Parámetros de codigestión anaerobia	Composición de los insumos (suero lácteo y estiércol bovino)	Relación Carbono / nitrógeno	Proporción
	Factor físico químico	pH	1 - 14
	Factor físico químico	Temperatura de codigestión	Grados centígrados (°C)
	Clima	Temperatura ambiental	Grados centígrados (°C)
	Factor mecánico	Agitación	Frecuencia Duración
	Tiempo	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Días, horas
<b>Variable independiente:</b> Producción de biogás	Cantidad de biogás	Volumen de biogás	Litros (l)
	Composición del biogás	N <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub>	Porcentaje (%)

### 3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

#### 3.3.1. Población

Según Hernández y col (2014), la población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones; para nuestro caso la población lo constituye



el volumen de suero lácteo producido en la planta de lácteos Qori Maki, ubicado en el distrito de Espinar, provincia de Espinar, departamento del Cusco. Diariamente la planta procesa 3500 litros de leche y se vierte al medio ambiente un aproximado de 3098 litros de suero de quesería.

En vista que se trata de un proceso de codigestión, consideramos que también la población lo constituye el volumen de estiércol de ganado bovino producido en una finca de la localidad de Espinar de la provincia de Espinar, que tiene 28 cabezas de ganado.

### **3.3.2. Muestra**

Según Suárez (2011), considera como muestra al segmento de una totalidad que forma parte de la población, es conocida como una réplica en miniatura de la misma, su estudio es más sencillo de realizar que estudiar a toda una población en conjunto. Para nuestro estudio las muestras constituyen el volumen de suero necesario y recogido de la planta de lácteos Qori Maki ubicado en el distrito de Espinar, provincia de Espinar, departamento del Cusco. Para el desarrollo del estudio se recogió 360 litros de suero de quesería.

También se tomó muestras de estiércol bovino producido en una finca del distrito de Espinar de la provincia de Espinar del departamento de Cusco. Se recogió un aproximado de 70 kg de estiércol fresco en un solo día.

### **3.3.3. Muestreo**

Se realizó un muestreo no probabilístico o dirigido respecto al cual Hernández y col. (2014), aseveran que la muestra no probabilística es un subgrupo de la población en la que la

elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación; por tanto se ha tomado muestras de suero lácteo o suero de quesería de una de las plantas de procesamiento existente en el distrito de Espinar denominada Qori Maky, de un día cualquiera de trabajo, entendiendo que el procesamiento es el mismo a diario, además que solo procesa el queso fresco tipo paria, por lo cual el suero generado a diario tendría las mismas características. De la misma manera, el muestreo de estiércol bovino se realizó de una finca cercana a la planta de lácteos, que realiza la crianza extensiva de ganado, cuya base alimenticia es el pasto natural complementado con pastos cultivados asociados, además estiércol procedente de vacas adultas mayores a 5 años.

#### **3.3.4. Unidad de análisis**

La unidad de análisis son las personas, procesos u objetos que se observan en un estudio de investigación (Carrasco, 2005), por lo cual para la investigación la unidad de análisis vendría a ser los biodigestores donde se realiza el proceso de codigestión anaerobia.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la actual investigación, se utilizaron técnicas e instrumentos que nos permitió recopilar información para responder a los objetivos planteados comprobando si la hipótesis es verdadera.

Se planteó como técnica de recolección de datos la observación, al respecto Yuni y Urbano (2006), mencionan que la técnica de observación es la que consiste en la inspección o estudio de las cosas o hechos tal como ocurren, empleando los sentidos (con o sin ayuda

de soportes técnicos) conforme a la rigurosidad de la investigación científica.

La observación nos permitió observar el fenómeno, hecho o caso apoyándose en fichas de medición de campo, tomando información y registros para posteriormente realizar el análisis. La medición se llevó a cabo durante la ejecución de la investigación.

Esta Técnica empleada ayudó a realizar la medición durante el control de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina.

Tomando la definición de Carrasco, (2005), sobre los instrumentos, son conjunto de preguntas o ítems debidamente organizados e impresos, módulos o cualquier forma organizada o prevista que permita obtener y registrar respuestas, opiniones, actitudes manifiestas, características variadas de las personas o elementos que son materia del estudio de investigación, todo en situaciones controladas y planificadas por el investigador. Se ha empleado como instrumentos, fichas de control que nos permitió, registrar, controlar y evaluar las mediciones de las variables del proceso de codigestión anaerobia.

Los instrumentos de recolección de datos fueron 06 fichas técnicas que nos permitió llevar un control riguroso de la investigación:

**Ficha N° 01:** Control de las mezclas de suero de quesería y estiércol bovino en el proceso de codigestión anaerobia.

**Ficha N° 02:** Medición del pH en cada tratamiento desde el día 0 hasta los 60 días.

**Ficha N° 03:** Medición de la temperatura en cada uno de los tratamientos y en periodos cortos, desde los 0 días hasta los 60 días.

**Ficha N° 04:** Medición del tiempo de retención hidráulica en los biodigestores para medir la producción de biogás de cada tratamiento, desde los 0 días hasta los 60 días.

**Ficha N° 05** Producción de biogás medido en litros (L) por cada tratamiento, desde los 0 días hasta los 60 días.

**Ficha N° 06:** Composición del biogás, medición del porcentaje de nitrógeno, metano y dióxido de carbono presente el biogás de cada tratamiento, desde los 0 días hasta los 60 días.

### **3.5. Procedimientos**

#### **3.5.1. Ubicación de la investigación**

El proyecto se ha desarrollado en el distrito de Espinar, provincia de Espinar, departamento de Cusco. Con las siguientes características:

Ubicación: Entre las Latitudes Sur de 14°40'20" y 15°20'00" y Longitudes Oeste de 70°56'58" y 71°54'45".

Altitud: 3891 msnm

Clima y Temperatura: El clima es frígido y seco; la temperatura mínima en los meses de estudio es de -0.8 °C en octubre y temperatura máxima de 19.5 °C en noviembre.

**Figura N° 2: Ubicación de la investigación**



Fuente: Google Earth, 2023.

**Tabla N° 6: Temperatura en la provincia de Espinar**

N°	Descripción	Octubre	Noviembre	Diciembre
01	Temperatura mínima	- 0.8	0.28	2.1
02	Temperatura máxima	18.9	19.5	18.2
03	Años considerados para el cálculo	27	28	26

Fuente: SENAMHI, 2023; Normales Climáticas Estándares 1991-2020

### **3.5.2. Construcción del invernadero**

Para desarrollar el estudio se ha construido un invernadero el cual fue ubicado en un espacio donde le llega el sol durante todo el día, con las siguientes características.

**Área del invernadero:** 6 m<sup>2</sup> (2.00 x 3.00 m).

**Diseño del techo:** Una sola agua, techo inclinado con caída de norte a sur.

**Estructura:** Madera rollizo de eucalipto de 5" a 4" de diámetro y listones de madera de 1" x 1.5".

<b>Cubierta:</b>	Polietileno térmico estabilizado de 254 micras de espesor (agrofilm calibre 10).
<b>Puerta de acceso:</b>	Ubicado al lado oeste.
<b>Particularidad:</b>	Con el fin de lograr la mayor retención de calor, no se ha instalado ventanas, solo existe una puerta de acceso.

**Figura N° 3: Invernadero construido para el proceso de biodigestión**



### **3.5.3. Construcción de biodigestores**

Como parte del trabajo se construyó nueve (9) prototipos de biodigestores anaeróbicos tipo batch o por lotes de una capacidad de 50 litros cada uno, estos biodigestores son cilindros de plástico resistente de color azul con tapa azul y anillo de seguridad para brindar hermeticidad, tomando en cuenta la experiencia de Castillo (2012). En estos recipientes

se realizaron tres perforaciones correspondientes a la salida de biogás ubicado sobre la tapa en la parte superior, la salida del biol hacia un lado de la pared del cilindro y el agitador en la parte central superior.

La salida del biol fue por un orificio ubicado a 10 cm de la base del envase, esta salida consta de un acople para cilindros de  $\frac{1}{2}$ " (niple con base, dos empaquetaduras), una llave de paso tipo bola de  $\frac{1}{2}$ ".

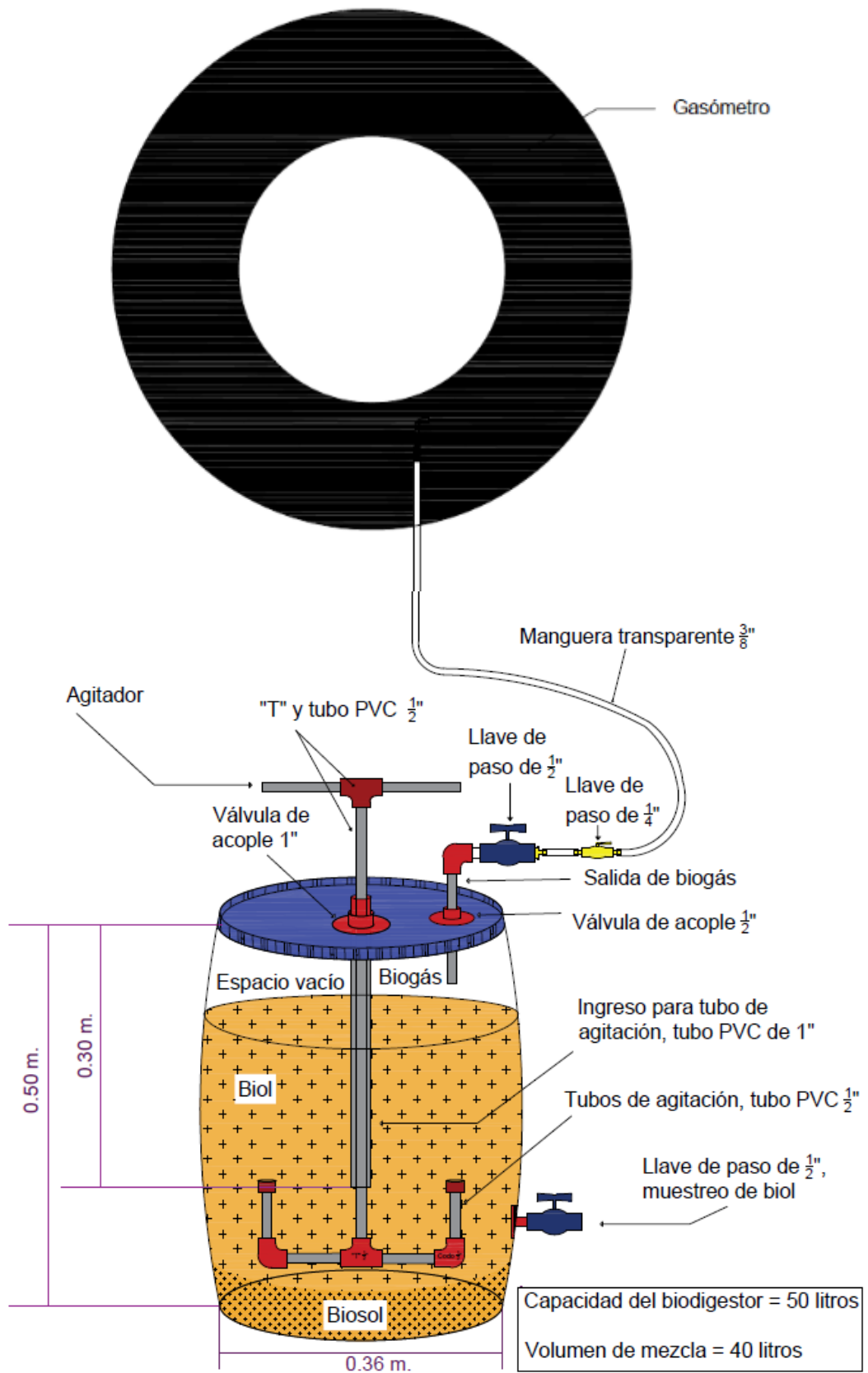
La salida del biogás fue a través de un orificio de  $\frac{1}{2}$ " sobre la tapa utilizando un acople para cilindros, un codo con rosca, un niple de  $\frac{1}{2}$ ", una llave de paso tipo bola de  $\frac{1}{2}$ ", un adaptador metálico tipo espiga de  $\frac{1}{2}$ " a 8 mm, una manguera transparente de 8 mm x 30 cm.

La entrada del agitador se ubicó en la parte superior y central de la tapa, utilizando un acople para cilindros de 1" de diámetro, una unión rosca de 1" y un tubo de 1" x 30 cm de largo. Dentro del agitador se colocó el propio agitador que consta de un tubo de  $\frac{1}{2}$ " x 60 cm de largo, dos "T" de  $\frac{1}{2}$ ", cuatro niples de 12 cm, dos codos de  $\frac{1}{2}$ ", dos niples de  $\frac{1}{2}$ " x 10 cm de largo, dos tapas de  $\frac{1}{2}$ ".

Se verificó que no haya fugas en los biodigestores antes de su puesta en marcha. Para lo cual se adicionó silicona marca "Sika" en las salidas de la tapa.

Para almacenar el gas se utilizó nueve (9) cámaras de vehículo cada una conectada a una manguera para gas y una llave de paso con su acople tipo espiga.

Figura N° 4: Diseño de biodigestores tipo Batch (carga fija)





**Figura N° 5: Biodigestores instalados en el invernadero**



#### **3.5.4. Procedimiento para la toma de muestra**

**Sobre el estiércol bovino:** Se recogió muestras de estiércol bovino que fueron recolectadas de una finca de la localidad de Espinar, verificando que no se haya suministrado ningún tipo de tratamiento antibacterial o antiparasitario a los bovinos, al menos durante los últimos 30 días, se recogió muestras de estiércol frescas y recién excretadas, las muestras recogidas fueron almacenadas a una temperatura de 5 °C y se utilizaron antes de las 24 horas.

Las características de los bovinos son las siguientes:

Edad de las vacas: Vacas adultas de 4 a 8 años.

Tipo de crianza: Extensivo, al pastoreo.

Alimentación: Alimentados principalmente con pastos naturales y complementado con pastos asociados perennes.

**Sobre el suero lácteo:** El suero lácteo o suero de quesería acopiado, corresponde al suero dulce, es decir antes de que se le agregue sal y/o cultivos, se recogió el suero proveniente de la planta de lácteos Qori Maky ubicado en la localidad de Yauri de la provincia de Espinar; las muestras que se recogieron fueron almacenados a una temperatura de 5 °C y fueron utilizadas para la investigación antes de las 24 horas.

### **3.5.5. Determinación de Relación Carbono/Nitrógeno**

Las muestras de suero de quesería y estiércol bovino se enviaron al laboratorio Bhios, acreditado por INACAL Perú, de la ciudad de Arequipa, quienes realizaron el análisis correspondiente, por los siguientes métodos:

#### **Estiércol de vaca:**

- Determinación de nitrógeno a través del método Bhios-FQ-015.
- Determinación de carbono orgánico a través del método INIA (CO).

#### **Suero de queso:**

- Determinación de nitrógeno a través del método Bhios-FQ-106.
- Determinación de carbono orgánico a través del método INIA (CO).

La relación carbono/nitrógeno se determinó utilizando los resultados de laboratorio.

De acuerdo al marco teórico la relación Carbono/Nitrógeno de manera óptima es una relación 30/1; este valor se debe lograr mezclando el suero de quesería con el estiércol bovino.

### 3.5.6. Determinación de sólidos totales

Las muestras de suero de quesería y estiércol bovino se enviaron al laboratorio Bhios, acreditado por INACAL Perú, de la ciudad de Arequipa, quienes realizaron el análisis correspondiente, por los siguientes métodos:

#### **Estiércol de vaca:**

- Determinación de sólidos totales a través del método EPA 1684.

#### **Suero de queso:**

- Determinación de sólidos totales a través del método AOAC 925.23.

Para conocer la concentración de sólidos totales (ST) en las mezclas establecidas se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\%ST \text{ carga} = \frac{Kg \text{ excreta} * \%ST \text{ excreta} + Kg \text{ suero lácteo} * \%ST \text{ suero lácteo}}{Kg \text{ total de la mezcla}}$$

#### **Donde:**

%ST carga: Porcentaje de sólidos totales de la mezcla

Kg excreta: Cantidad de kg de excreta de bovino

%ST excreta: Porcentaje de sólidos totales de la excreta

Kg suero: Cantidad de kg de suero lácteo

%ST suero: Porcentaje de sólidos totales del suero lácteo

### 3.5.7. Preparación de la mezcla

Se planteó para el desarrollo de la investigación trabajar con una relación cercana a la considerada como óptima de carbono/nitrógeno, que es de 30/1, para esto se mezcló una fuente de nitrógeno (estiércol bovino), con una fuente de carbono (suero de quesería).

Según Castillo (2012) para obtener una relación C/N de 30/1 se realiza los siguientes cálculos para preparar la mezcla que posteriormente se carga al biodigestor:

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \dots \dots Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \dots \dots Nn * Qn}$$

**Dónde:**

K: C/N de la mezcla de materias primas

C: % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N: % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q: Peso fresco de cada materia expresado en kilos.

Las materias primas en el estudio son el estiércol o excreta bovina y el suero lácteo o suero de quesería. Para conocer la relación carbono/nitrógeno de las mezclas, se aplicó la fórmula mostrada, previamente a este cálculo se determinó en laboratorio el porcentaje de carbono y nitrógeno en cada materia prima empleada.

### **3.5.8. Llenado de biodigestores**

Para la investigación se planteó realizar tres tratamientos con sus tres repeticiones, cada tratamiento constó de un rótulo de identificación donde indica el nombre del sustrato empleado, el número de repeticiones, la fecha de inicio del proceso.

El Tratamiento 1 consistió en la mezcla de suero de queso y estiércol bovino, en una proporción de 3:1, 3 partes de suero de queso y 1 parte de estiércol. Según los cálculos efectuados corresponde a este tratamiento 30 kg de suero lácteo con 10 kg de estiércol, para hacer un total de 40 kg de mezcla en la proporción de 3:1.

La rotulación de las unidades de análisis (biodigestores) fueron los siguientes:

- 3 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 1, repetición 1; simbología T 1-1)
- 3 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 1, repetición 2; simbología T 1-2)
- 3 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 1, repetición 3; simbología T 1-3)

El Tratamiento 2 consistió en la mezcla de suero de queso y estiércol bovino, en una proporción de 5:1, 5 partes de suero de queso y 1 parte de estiércol. Según los cálculos efectuados corresponde a este tratamiento 33.33 kg de suero lácteo con 6.67 kg de estiércol, para hacer un total de 40 kg de mezcla en la proporción de 5:1.

La rotulación de las unidades de análisis (biodigestores) fueron los siguientes:

- 5 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 2, repetición 1; simbología T 2-1).
- 5 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 2, repetición 2; simbología T 2-2).
- 5 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 2, repetición 3; simbología T 2-3).

El Tratamiento 3 consistió en la mezcla de suero de queso y estiércol bovino, en una proporción de 7:1, 7 partes de suero de queso y 1 parte de estiércol. Según los cálculos efectuados corresponde a este tratamiento 35 kg de suero lácteo con 5 kg de estiércol, para hacer un total de 40 kg de mezcla en la proporción de 7:1.

La rotulación de las unidades de análisis (biodigestores) fueron los siguientes:

- 7 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 3, repetición 1; simbología T 3-1).
- 7 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 3, repetición 2; simbología T 3-2).
- 7 partes de suero de queso + 1 parte de estiércol bovino (tratamiento 3, repetición 3; simbología T 3-3).

Para el llenado de los biodigestores, se decidió llenar al 80% del volumen total del recipiente, la forma de establecer el volumen de sustrato combinados se hizo aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Volumen a llenar} = \text{Volumen total biodigestor} \times 0.8$$

$$\text{Volumen a llenar} = 50 \text{ litros} \times 0.8 = 40 \text{ litros}$$

Con el fin de cerrar herméticamente, se utilizaron cilindros de plástico con anillos de seguridad que permiten un cerrado hermético, además se hizo pruebas antes del proceso de biodigestión para comprobar que no hubiese fugas.

Para la alimentación de los biodigestores anaeróbicos el sustrato, que es la mezcla de suero de queso y estiércol ya tenían la relación carbono/nitrógeno adecuado, este valor ha sido calculado tomando en cuenta los resultados de laboratorio realizados a las muestras de suero de queso y estiércol bovino. Después de la alimentación de los biodigestores se sometió a un procedimiento de agitación cada 12 horas por espacio de 5 minutos para distribuir y homogenizar el material suministrado al biodigestor anaerobio.

Como parte del procedimiento el biodigestor estuvo conectado mediante manguera de 8 mm a un gasómetro (cámara de

vehículo de 7.50R16); se colocó una llave de paso tipo bola a la salida del biodigestor y otra llave conectada a la manguera que va unida al gasómetro; la colocación de estas dos llaves permitió retirar los gasómetros cerrando la entrada de aire a los biodigestores y los gasómetros. El gasómetro sirvió para almacenar el biogás y poder medir la cantidad producida por unidad de tiempo de cada biodigestor. Además se utilizó otros gasómetros pequeños para almacenar y trasladar las muestras para medición, consistente en cámaras de 16" (cámaras para llantas de carretilla).

### **3.5.9. Tiempo de retención hidráulica TRH**

El tiempo de retención hidráulica para la investigación fue calculado durante el trabajo, llegando a evaluarse durante 60 días.

### **3.5.10. Determinación de pH**

Para medir el pH se utilizó peachímetros comerciales, los cuales fueron calibrados de acuerdo a las indicaciones del fabricante. La medición se realizó cada día. Para las mediciones se abrió la llave de paso para coleccionar solo la cantidad necesaria de biol, evitando que disminuya la cantidad de biol en el biodigestor anaerobio y evitando también el intercambio de gases con el exterior. El procedimiento para la toma de muestras se realizó abriendo la llave de paso y coleccionando el biol en un vaso de vidrio de 100 ml. El control de la información se hizo a través de fichas de apunte, para después ser trasladado a la base de datos de Microsoft Excel.

### **3.5.11. Corrección del pH**

Según la información previa, para que se pueda producir biogás con un adecuado porcentaje de metano, se debe trabajar con una solución cercana a la neutralidad, por lo cual se trató de llegar a valores cercanos a pH 7, para este fin se utilizó hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$  de 15 a 39%); cal nieve, comercializado por Química Martell, agregando a través de las paredes de entrada del agitador. El rango de pH corregido fue de 6.5 a 8.5 de pH.

La cal fue disuelta en agua corriente en proporción 1:1, previo tamizado de la cal para retirar la arenilla contenida.

### **3.5.12. Determinación de temperatura**

Se tomó medidas de temperatura interna del biodigestor cada día, las medidas de temperatura fueron entre las 12 y 14 horas, utilizando aparatos comerciales y tomando en cuenta las indicaciones del fabricante, se contó con un termómetro tipo reloj y un termómetro digital para evitar errores. El procedimiento para la toma de muestras se realizó abriendo la llave de paso y colectando el biol en un vaso. El control de la información se hizo a través de fichas de apunte, para después ser trasladado a la base de datos de Microsoft Excel.

Para evitar cambios abruptos de temperatura en el interior de los biodigestores anaeróbicos se construyó un invernadero, por lo cual también se hizo control de la temperatura del ambiente con termómetros ambientales.

Para comparar la temperatura dentro del invernadero y fuera del invernadero se colocó termómetros ambientales dentro y fuera del invernadero.

Así mismo para comparar la variación de la temperatura del líquido, se utilizó dos recipientes de 40 litros con tapa



conteniendo agua, uno dentro del invernadero y otro fuera del invernadero.

### **3.5.13. Evaluación del volumen de biogás**

La cantidad o volumen de biogás producido se ha determinado aplicando el principio de Arquímedes o método de desplazamiento de volúmenes. El biogás acumulado en los gasómetros (cámaras) desplazó una cantidad de volumen de agua de un contenedor hacia otro contenedor con un volumen conocido.

El sistema constó de un recipiente de agua conectado a través de una manguera hacia el gasómetro; otra manguera que desplazó el agua del recipiente con volumen de agua hacia un matraz Erlenmeyer.

$$\text{Volumen de biogás} = \text{volumen de agua desplazada}$$

La medición del volumen producido de biogás se realizó cada 24 horas.

### **3.5.14. Evaluación de la composición del biogás**

El gas producido y medido se hizo pasar hacia una bureta invertida que contenía una solución de NaOH 1N y de esta manera se cuantificó el volumen de metano, ya que el CO<sub>2</sub> y otros gases quedan atrapados en la solución de NaOH 1N (Rosales et al. 2010; Scherer y Neumann 2013). Además, también se utilizó otro método colectando directamente el biogás contenido en el gasómetro en una jeringa de 60 ml, sabiendo el volumen conocido se conectó a través de una manguera de 2 mm para hacer pasar el biogás por la solución de NaOH 1N.

La medición se realizó a los 2, 15, 20 y 25 días, entre los cuidados necesarios en el trabajo se tuvo: evitar en todo momento el ingreso al biodigestor de O<sub>2</sub> cuando se haga la medición, porque podría provocar la variación significativa del porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>).

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para el análisis de datos, como medio estadístico se ha empleado el Diseño Completamente al Azar (DCA), que se menciona a continuación.

**Factores en estudio:** Los factores en estudio son las mezclas de suero lácteo y estiércol bovino; el tratamiento 1 consistió en la mezcla de proporción 3:1; tratamiento 2 consistente en la mezcla de proporción 5:1 y tratamiento 3 consistente en la mezcla de proporción 7:1, cada tratamiento con tres repeticiones.

**Diseño experimental:** El objetivo principal fue determinar la producción de biogás de las mezclas de suero lácteo y estiércol bovino. Se eligió el Diseño Completamente al Azar (DCA).

**Unidades experimentales:** Se tuvo 9 unidades experimentales; los tratamientos son las mezclas de suero lácteo y estiércol bovino, para plantear el DCA, se tuvo tres tratamientos y tres repeticiones en cada tratamiento; los parámetros evaluados son la producción de biogás.

El diseño completamente al azar se muestra en la tabla N° 7, este planteamiento nos permitió comparar la generación de biogás por cada tratamiento.

**Tabla N° 7: Diseño completamente al azar (DCA)**

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

**Donde:**

T-1: Tratamiento 1 (mezcla 3:1, suero lácteo: estiércol bovino).

T-2: Tratamiento 2 (mezcla 5:1, suero lácteo: estiércol bovino).

T-3: Tratamiento 3 (mezcla 7:1, suero lácteo: estiércol bovino).

R: Tres repeticiones

Se utilizó el paquete estadístico del Excel como medio de procesamiento y validación estadística de los datos, haciendo uso del análisis de varianza (ANVA o ANOVA).

El análisis de varianza (ANVA) se procesó con 5% de confiabilidad, para efectos de cálculo se utilizó la siguiente nomenclatura:

NS = No hay diferencia significativa entre los tratamientos.

(\*) = Existe diferencia significativa entre los tratamientos.

**Tabla N° 8: Diseño completamente al azar (DCA)**

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

Fuente: Calzada B. "Métodos estadísticos para la investigación"

### **3.7. Aspectos éticos**

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se aplicaron los siguientes principios éticos:

Principio de beneficencia, el proyecto de investigación se desarrolló con rigurosidad científica con el fin de generar conocimiento que puede ser aplicado en la solución de los problemas vinculados al vertimiento de suero de quesería y la generación de energía en beneficio de la sociedad.

Principio de autonomía, se refiere a la capacidad de decisión de las personas y el respeto de su voluntad, durante todo el desarrollo de la investigación se respetó la autonomía de los involucrados, propietarios de la planta de lácteos y finca ganadera.

Así mismo se aplicó el principio de justicia durante todo el desarrollo de la investigación.

#### IV. RESULTADOS

El primer parámetro evaluado es la relación carbono/nitrógeno, para este fin se enviaron las muestras a laboratorio, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 9: Relación carbono/nitrógeno individual**

DETERMINACIÓN	ESTIÉRCOL DE VACA	SUERO DE QUESERÍA
Carbono %	8.27	3.60
Nitrógeno %	0.28	0.16
Relación C/N	29.53/1	22.50/1

Fuente: Resultados del laboratorio Bhios

Según los resultados de laboratorio para el estiércol bovino, se tiene una relación de carbono/nitrógeno de 8.27/0.28, que es equivalente a 29.53/1. De igual manera para el suero de quesería la relación carbono nitrógeno sería de 3.60/0.16, equivalente a 22.5/1. A partir de los resultados individuales de estiércol bovino y suero de quesería se ha calculado los resultados en las mezclas de codigestión que serían los siguientes:

**Tabla N° 10: Relación carbono/nitrógeno en las mezclas**

DETERMINACIÓN	Mezcla 3:1	Mezcla 5:1	Mezcla 7:1
Relación C : N	24.26	23.67	23.38

Para la mezcla 3:1 de suero de quesería y estiércol la relación de carbono/nitrógeno fue de 24.26/1; para la mezcla 5:1 de suero de quesería y estiércol bovino la relación de carbono/nitrógeno fue de 23.67 y para la mezcla 7:1 de suero de quesería y estiércol bovino, la relación de carbono nitrógeno fue de 23.38, tal como se puede apreciar en la

tabla N° 10. Según dicha tabla se puede apreciar que la relación carbono/nitrógeno está dentro de los valores recomendados.

Diversos autores (MINENERGIA /PNUD/FAO/GEF, 2011) concuerdan que la relación C/N debe de estar en el rango de 15 a 45, coincidiendo que el valor óptimo es 30, además concuerdan que en caso se tenga un valor mayor a 35 la descomposición de la materia orgánica es muy lenta por falta de nitrógeno y para un valor menor a 8 la actividad bacteriana se inhibe por exceso de amonio el cual es considerado como tóxico para los microorganismos metanogénicos; también Wang et al., (2012), afirman que mediante la digestión anaerobia el mejor rendimiento de metano ocurre a un pH estable y NH<sub>3</sub> libre, con una relación C/N = 30; sobre el mismo tema Núñez (2017), afirma que con un sustrato efluente con C/N = 36.88, la materia orgánica se descompone muy lentamente debido a la reducida cantidad de energía para su descomposición o porque el proceso ha terminado (Núñez, 2017).

El siguiente parámetro evaluado fue la materia seca y grado de mezclado, el cual se determinó tomando en cuenta los resultados de laboratorio del porcentaje de sólidos totales en cada sustrato, cuyos resultados se aprecian en la tabla N° 11.

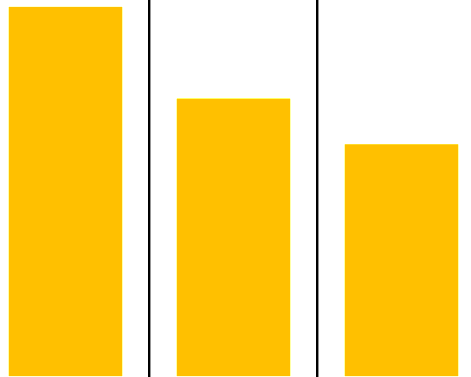
**Tabla N° 11: Porcentaje de sólidos totales en los sustratos**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>SUERO DE QUESERÍA</b>	<b>ESTIÉRCOL BOVINO</b>
% Sólidos Totales	6.69	14.54

A partir de estos resultados se ha podido calcular el porcentaje de sólidos totales de las mezclas 3:1, 5:1 y 7:1, indicando que el porcentaje de sólidos totales se refieren al porcentaje de materia seca luego de haber sido extraído el agua; además, se aclara que para el mezclado de los sustratos se utilizó en el estado en el cual fueron recolectados (suero

lácteo dulce procedente de quesería y excreta bovina fresca). Los resultados del porcentaje de sólidos totales en las mezclas fueron de 8.65% en la mezcla 3:1; 8.00% en la mezcla 5:1 y 7.67% en la mezcla 7:1, tal como se aprecia en la tabla N° 12.

**Tabla N° 12: Porcentaje de sólidos totales en las mezclas**

DETERMINACIÓN	MEZCLA 3:1	MEZCLA 5:1	MEZCLA 7:1
% Sólidos Totales	8.65%	8.00%	7.67%
Gráfico			

Otro parámetro importante es el potencial de hidrógeno (pH). Se ha evaluado el valor de pH del estiércol y suero de quesería antes de realizar las mezclas de codigestión, cuyos resultados se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla N° 13: Valor de pH del estiércol bovino y suero de queso**

DETERMINACIÓN	SUERO DE QUESERÍA	ESTIÉRCOL BOVINO
pH	6.84	7.28

El pH del estiércol bovino fue de 7.28, tal cálculo se hizo a los 30 minutos de recogida la muestra; el pH del suero de quesería a las 2 horas de recogida la muestra tuvo un valor de 6.84. Una vez conocido el pH de

los sustratos se procedió a realizar las mezclas de codigestión, a las cuales se hizo la evaluación diaria, datos que se muestran a continuación:



Tabla N° 14: Control de pH en las mezclas de suero y estiércol

Día	Suero / Estiércol (3:1)									Suero / Estiércol (5:1)									Suero / Estiércol (7:1)								
	Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3			Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3			Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3		
	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi
0	6.86	Si	7.54	6.89	Si	7.45	6.84	Si	7.38	6.86	Si	7.54	6.89	Si	7.45	6.84	Si	7.38	6.86	Si	7.54	6.89	Si	7.45	6.84	Si	7.38
1	5.51	Si	7.21	5.52	Si	7.15	5.54	Si	7.18	5.48	Si	7.24	5.47	Si	7.32	5.45	Si	7.24	5.34	Si	7.45	5.45	Si	7.38	5.38	Si	7.34
2	5.80	Si	7.18	5.84	Si	5.74	5.75	Si	7.22	5.89	Si	7.24	5.87	Si	7.31	5.88	Si	7.19	5.75	Si	7.22	5.71	Si	7.24	5.69	Si	7.18
3	5.77	Si	7.41	5.68	Si	7.40	5.34	Si	7.31	5.48	Si	7.26	5.37	Si	7.18	5.21	Si	7.22	5.41	Si	7.24	5.31	Si	7.28	5.14	Si	7.26
4	5.78	Si	7.34	5.69	Si	7.34	5.43	Si	7.27	5.46	Si	7.41	5.81	Si	7.23	5.34	Si	7.24	5.32	Si	7.24	5.26	Si	7.15	5.27	Si	7.24
5	5.64	Si	7.26	5.68	Si	7.41	5.49	Si	7.42	5.71	Si	7.34	5.48	Si	7.52	5.41	Si	7.34	5.40	Si	7.37	5.14	Si	7.29	5.34	Si	7.25
6	5.73	Si	7.35	5.62	Si	7.38	5.56	Si	7.32	5.63	Si	7.38	5.54	Si	7.40	5.39	Si	7.45	5.46	Si	7.28	5.28	Si	7.34	5.32	Si	7.36
7	5.75	Si	7.45	5.41	Si	7.36	5.61	Si	7.22	5.64	Si	7.34	5.87	Si	7.36	5.82	Si	7.44	5.47	Si	7.20	5.71	Si	7.32	5.74	Si	7.27
8	6.02	Si	7.34	6.04	Si	7.41	6.14	Si	7.35	6.24	Si	7.27	6.18	Si	7.29	6.15	Si	7.39	5.64	Si	7.24	5.89	Si	7.41	5.97	Si	7.45
9	6.45	Si	7.45	6.27	Si	7.42	6.37	Si	7.48	6.18	Si	7.34	6.47	Si	7.42	6.41	Si	7.48	6.24	Si	7.19	6.45	Si	7.24	6.36	Si	7.37
10	6.64	Si	7.48	6.54	Si	7.42	6.53	Si	7.51	6.42	Si	7.46	6.64	Si	7.62	6.54	Si	7.49	6.34	Si	7.38	6.41	Si	7.42	6.45	Si	7.48
11	6.70	Si	7.42	6.79	Si	7.38	6.65	Si	7.46	6.68	Si	7.37	6.57	Si	7.45	6.62	Si	7.54	6.54	Si	7.28	6.57	Si	7.41	6.63	Si	7.51
12	6.84	Si	7.45	6.80	Si	7.45	6.67	Si	7.56	6.68	Si	7.45	6.64	Si	7.40	6.62	Si	7.50	6.58	Si	7.45	6.61	Si	7.39	6.64	Si	7.42
13	6.84	Si	7.34	6.94	Si	7.41	6.82	Si	7.48	6.78	Si	7.54	6.74	Si	7.34	6.84	Si	7.54	6.94	Si	7.46	6.67	Si	7.42	6.68	Si	7.53
14	6.88	Si	7.45	6.98	Si	7.42	6.89	Si	7.38	6.94	Si	7.41	6.87	Si	7.39	6.95	Si	7.45	6.98	Si	7.28	6.87	Si	7.34	6.89	Si	7.48
15	7.12	No		7.16	No		6.97	No		7.20	No		6.98	No		7.15	No		6.91	No		7.15	No		7.06	No	
16	7.00	No		7.10	No		6.94	No		7.12	No		7.10	No		7.10	No		6.80	No		7.04	No		6.94	No	
17	6.88	No		6.96	No		6.83	No		6.94	No		7.03	No		7.02	No		6.72	No		6.73	No		6.84	No	
18	6.79	No		6.84	No		6.77	No		6.80	No		6.85	No		6.93	No		6.44	No		6.63	No		6.72	No	
19	6.50	No		6.77	No		6.46	No		6.71	No		6.65	No		6.84	No		6.35	No		6.50	No		6.34	No	
20	6.45	No		6.61	No		6.42	No		6.62	No		6.54	No		6.68	No		6.22	No		6.35	No		6.12	No	
21	6.41	No		6.52	No		6.37	No		6.54	No		6.52	No		6.68	No		6.06	Si	7.38	5.94	Si	7.32	5.85	Si	7.40

Día	Suero / Estiércol (3:1)									Suero / Estiércol (5:1)									Suero / Estiércol (7:1)								
	Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3			Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3			Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3		
	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi	pH In	Reg.	pH Fi
22	6.38	Si	7.35	6.41	Si	7.28	6.32	Si	7.41	6.44	Si	7.35	6.42	Si	7.38	6.51	Si	7.40	7.30	No		7.29	No		7.29	No	
23	7.27	No		7.22	No		7.35	No		7.30	No		7.35	No		7.35	No		7.28	No		7.27	No		7.24	No	
24	7.24	No		7.18	No		7.30			7.24	No		7.34	No		7.32			7.24	No		7.22	No		7.21	No	
25	7.22	No		7.16	No		7.25			7.20	No		7.25	No		7.26			7.19	No		7.20	No		7.18	No	
26	7.20	No		7.14	No		7.18			7.19	No		7.22	No		7.22			7.15	No		7.18	No		7.16	No	
27	7.19	No		7.12	No		7.18			7.18	No		7.21	No		7.19			7.12	No		7.15	No		7.14	No	
28	7.18	No		7.12	No		7.16			7.17	No		7.20	No		7.18			7.10	No		7.11	No		7.08	No	
29	7.14	No		7.10	No		7.11			7.15	No		7.17	No		7.16			7.08	No		7.07	No		7.05	No	
30	7.12	No		7.10	No		7.08			7.12	No		7.14	No		7.15			6.98	No		7.01	No		6.98	No	
31	7.08	No		7.04	No		7.02			7.10	No		7.08	No		7.07			6.96	No		7.01	No		6.90	No	
32	7.06	No		7.03	No		7.01			7.05	No		7.07	No		7.04			6.94	No		6.98	No		6.88	No	
33	7.04	No		7.00	No		6.97			6.98	No		7.01	No		7.04			6.90	No		6.92	No		6.86	No	
34	6.96	No		6.98	No		6.90			6.93	No		6.97	No		6.95			6.90	No		6.84	No		6.83	No	
35	6.93	No		6.98	No		6.84			6.92	No		6.94	No		6.92			6.85	No		6.83	No		6.79	No	
36	6.94	No		6.95	No		6.82			6.87	No		6.90	No		6.87			6.82	No		6.79	No		6.75	No	
37	6.90	No		6.93	No		6.80			6.85	No		6.86	No		6.84			6.83	No		6.77	No		6.74	No	
38	6.83	No		6.93	No		6.79			6.84	No		6.85	No		6.84			6.80	No		6.76	No		6.74	No	
39	6.82	No		6.90	No		6.78			6.84	No		6.84	No		6.82			6.82	No		6.76	No		6.72	No	
40	6.83	No		6.88	No		6.76			6.83	No		6.82	No		6.81			6.82	No		6.75	No		6.73	No	

**pH in** = pH inicial

**Reg.** = regulación (utilizando Ca(OH)<sub>2</sub>)

**pH fi** = pH final

Tomando como base la bibliografía consultada donde la mayoría de autores coinciden en que el pH adecuado en el proceso de biodigestión es cercano a la neutralidad, se ha tratado durante toda la investigación mantener un valor por encima de 6.5 de pH, por lo cual se ha empleado para regular el pH el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Durante toda la investigación se ha registrado valores de pH desde 5.21 hasta 7.56, hasta el día 14 se hizo la regulación del pH, debido a que siempre se presentaba disminución del pH, a partir del día 15 el valor del pH disminuía lentamente por lo cual se dejó de regular, hasta que en los días 21 y 22 se hizo una nueva regulación debido a que el pH estaba por debajo de 6.5, después del día 23 se dejó de regular el pH.

Otro parámetro evaluado fue la temperatura, que para algunos autores es considerado como uno de los parámetros más importantes en el proceso de biodigestión, tal como lo afirma Jaimes – Estévez J. y col. (2022) que la temperatura es una variable que afecta directa y significativamente al bioproceso. Se ha realizado el control de temperatura de los siguientes casos:

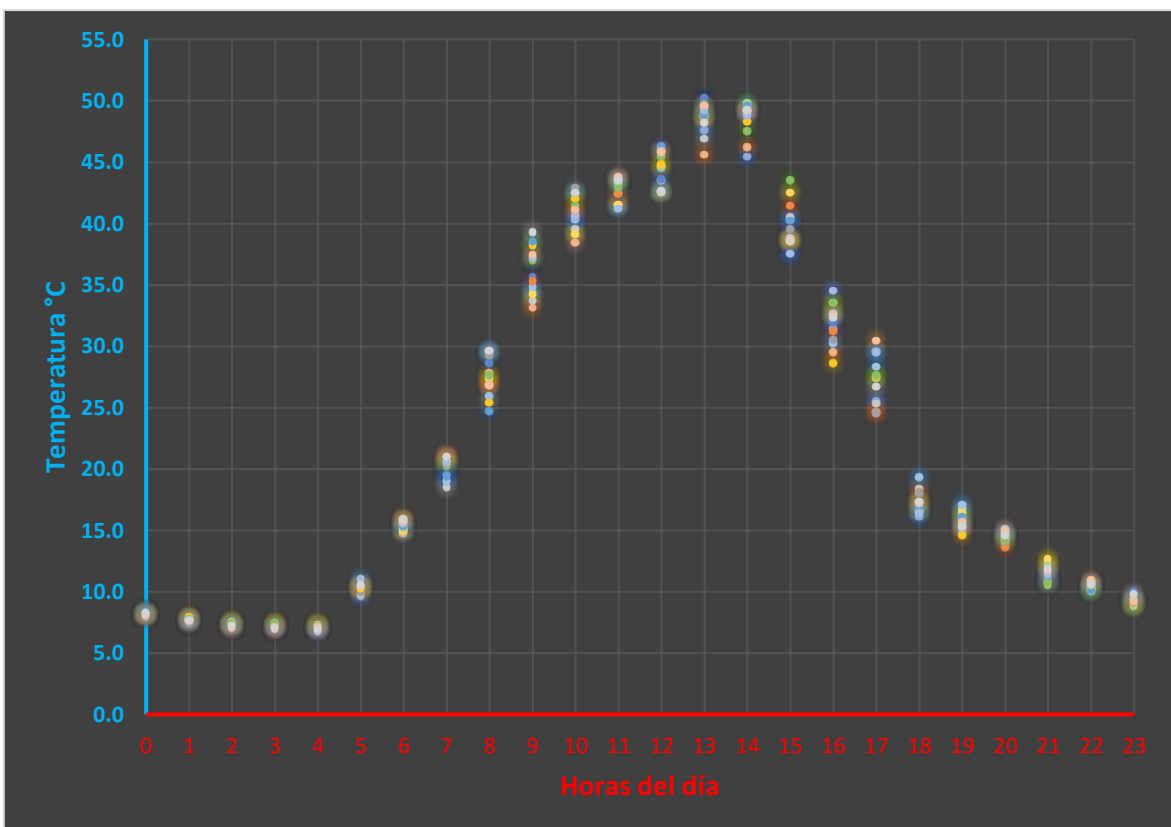
- Temperatura ambiental dentro del invernadero.
- Temperatura del agua dentro del invernadero.
- Temperatura del agua en el exterior (fuera del invernadero).

En cuanto a la temperatura ambiental, según la información recogida se pudo observar que la temperatura ambiental en la localidad de Espinar, medida en 24 horas, sufre cambios bruscos desde  $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante la madrugada hasta los  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , según información del SENAMHI, este rango corresponde a los meses de trabajo, octubre, noviembre y diciembre.

El proceso de codigestión anaerobia se realizó en biodigestores que han sido colocados dentro de un invernadero, por lo cual se ha generado un microclima dentro del invernadero que atenúa de alguna manera el cambio brusco de temperatura, pero, aun así, la temperatura sufrió

cambios bruscos desde los 7.1 °C hasta los 48.6 °C, observándose que durante el día hay un incremento de temperatura importante en comparación a la temperatura ambiental. Cabe indicar que durante los meses de estudio se presentó días completamente soleados. La temperatura mínima se registró alrededor de las 4:00 de la mañana con 7.1 °C y la temperatura máxima se registró alrededor de las 13 y 14 horas llegando a 48.6 °C, tal como se puede apreciar en la imagen N° 06.

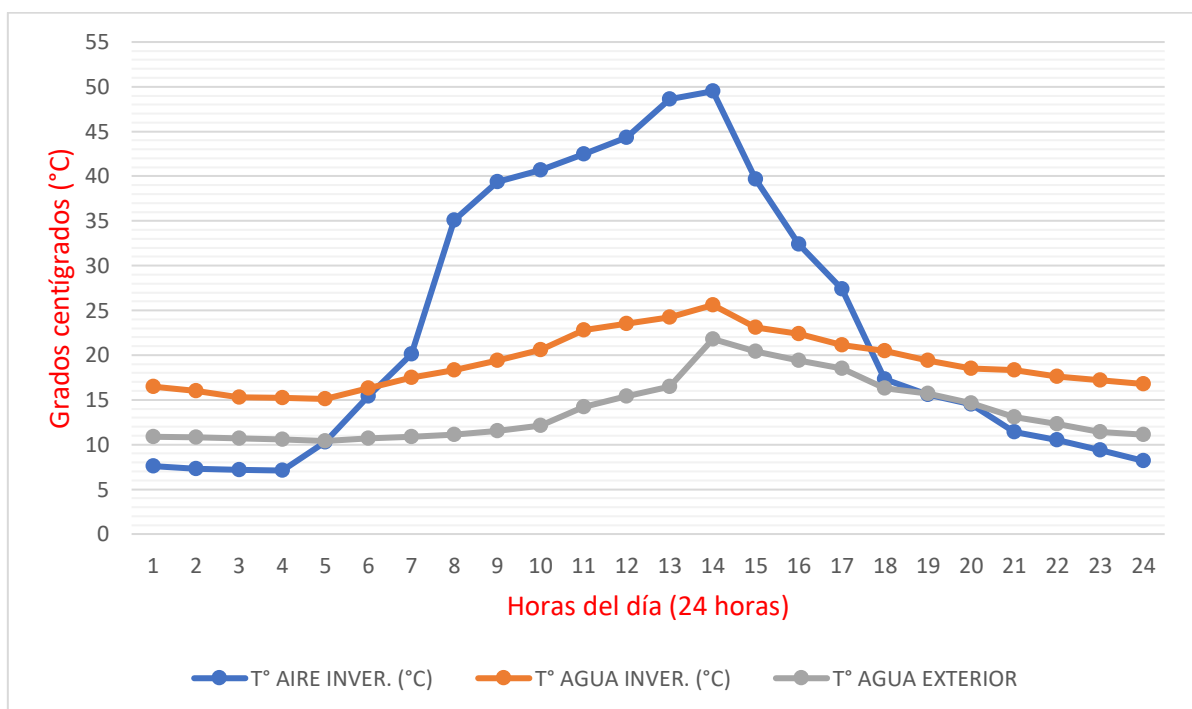
**Figura N° 6: Variación de la temperatura ambiental dentro del invernadero**



Con el fin de conocer más a detalle la influencia de la temperatura en el proceso de codigestión se tuvo dentro del invernadero un recipiente similar a los biodigestores conteniendo agua, con el fin de conocer con cierta aproximación como es la variación de la temperatura del biol contenido en los biodigestores. La información registrada nos muestra que la temperatura del agua dentro del invernadero ha oscilado entre los 15.1 °C y los 25.6 °C, esta temperatura es superior a la temperatura del

agua en el exterior del invernadero que se registró entre los 10.4 °C y los 21.8 °C. Cabe indicar que a pesar que la temperatura ambiental descendía hasta 7.1 °C, la temperatura del agua en el interior del invernadero no llegaba a descender a esa medida; así mismo ocurre en el sentido contrario que la temperatura ambiental en el día pasaba los 22 °C, pero el agua ambiental tampoco llega a esa temperatura. Los estudios realizados concuerdan con la información de Román, (2021), quien indica que a pesar de que la temperatura en el interior del invernadero sufre cambios bruscos, la temperatura de trabajo se mantuvo sin mayores cambios.

**Figura N° 7: Temperatura ambiental y del agua dentro del invernadero**



Como se puede apreciar en la imagen N° 7, la temperatura del agua dentro del invernadero se mantenía superior a la temperatura del agua fuera del invernadero, este fenómeno ocurre porque la temperatura del aire dentro del invernadero llegaba hasta 49.6 °C en su pico máximo, así mismo la cubierta del invernadero ayudaba a mantener la temperatura o que esta no descendiera tan rápido como del medio ambiente.

Un siguiente factor de la biodigestión es la agitación o mezclado; los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformizar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica que reducirían el volumen efectivo del reactor y prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor (FAO, 2011), para el estudio se ha realizado la agitación de los sustratos dos veces al día, con separación de 12 horas (7:00 a.m. y 7:00 p.m.). La agitación ha sido del tipo mecánico, a través de agitadores manuales colocados en cada biodigestor.

Sobre el tiempo de retención hidráulica (TRH), en un digestor que opera a régimen estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga (FAO, 2011), en nuestra investigación el tiempo de retención hidráulica ha sido diferente entre los tratamientos, para el tratamiento 1 (mezcla 3:1) el TRH es de  $24 \pm 1$  días, para el tratamiento 2 (mezcla 5:1) el TRH es de  $26 \pm 0.58$  días y para el tratamiento 3 (mezcla 7:1) el TRH es de  $35 \pm 0.58$  días.

**Tabla N° 15: Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2			TRATAMIENTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
DÍAS	24	23	25	26	27	26	35	34	35
PROMEDIO	24			26			35		
D S.	1			0.58			0.58		

Jaimes – Estévez J. y col. (2022), realizaron estudios a temperatura psicrófila en laboratorio y escala de granja obteniendo en el ensayo de BMP a 15 °C 45 días de TRH y en el proceso semicontinuo a escala de granja el TRH fue de 75 días; cabe aclarar que estos ensayos se realizaron sin que haya regulación del pH.

Sobre la producción de biogás, según la información recopilada, la producción de biogás es variable en los diferentes tratamientos.

**Tabla N° 16: Producción de biogás en la mezcla 3:1 (suero / estiércol)**

Día	Suero / Estiércol (3:1)			Promedio	STD (l/día)	CV %
	Tratamiento 1					
	T1R1	T1R2	T1R3			
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1	sp	sp	sp	sp	sp	sp
2	6.20	6.40	6.40	6.33	0.12	1.82%
3	5.80	5.40	8.10	6.43	1.46	22.65%
4	sp	sp	sp	sp	sp	sp
5	sp	sp	sp	sp	sp	sp
6	sp	sp	sp	sp	sp	sp
7	sp	sp	sp	sp	sp	sp
8	sp	sp	sp	sp	sp	sp
9	sp	sp	sp	sp	sp	sp
10	sp	sp	sp	sp	sp	sp
11	sp	sp	sp	sp	sp	sp
12	sp	sp	sp	sp	sp	sp
13	sp	sp	sp	sp	sp	sp
14	8.30	7.60	6.80	7.57	0.75	9.92%
15	21.20	21.20	16.30	19.57	2.83	14.46%
16	13.40	19.80	15.30	16.17	3.29	20.33%
17	10.60	18.50	12.70	13.93	4.09	29.37%
18	8.60	8.40	7.60	8.20	0.53	6.45%
19	7.50	5.10	5.30	5.97	1.33	22.32%
20	4.50	0.00	4.20	2.90	2.52	86.76%
21	7.90	6.20	5.60	6.57	1.19	18.17%
22	3.60	0.00	6.40	3.33	3.21	96.25%
23	0.00	4.20	0.00	1.40	2.42	173.21%
24	2.50	0.00	1.10	1.20	1.25	104.42%
25	0.00	0.00	0.80	0.27	0.46	173.21%
26	sp	sp	sp	sp	sp	sp
27	sp	sp	sp	sp	sp	sp
28	sp	sp	sp	sp	sp	sp
29	sp	sp	sp	sp	sp	sp
30	sp	sp	sp	sp	sp	sp
<b>T</b>	<b>100.10</b>	<b>102.80</b>	<b>96.60</b>	<b>99.83</b>	<b>3.11</b>	<b>3.11%</b>
	<b>% de Biogás</b>			<b>249.58%</b>		

**ND** = No determinado  
**STD** = Desviación estándar

**Sp** = Sin producción  
**CV** = Coeficiente de variación

**Condiciones de trabajo:**

Mezcla (kg): 40 kg (30 kg de suero lácteo y 10 kg de estiércol bovino).  
 Sustancia para regular el pH: Ca(OH)<sub>2</sub>  
 Rango de regulación del pH: 6.5 a 7.5  
 Producción de biogás (%): Mezcla (kg) / litros de biogás x100  
 (99.83/40.00 x 100 = 249.58%)

En relación con el análisis estadístico del tratamiento 1, correspondiente a la mezcla 3:1, se puede apreciar que la producción de biogás empezó en el día 2, luego hubo un periodo de 10 días donde no se advirtió la producción de biogás, seguido de otro periodo del día 14 al 25, donde se nota que la producción de biogás por cada día no es homogénea, por presentar valores de desviación estándar alejados del promedio y con coeficiente de variación muy por encima del 30%. Pero si analizamos la producción total de biogás de la Tabla N° 16, por cada muestra se puede observar que la desviación estándar es de 3.11 litros con un coeficiente de variación de 3.11%, a lo que podemos afirmar que hay una producción total que es homogénea dentro del tratamiento.

**Tabla N° 17: Producción de biogás en la mezcla 5:1 (suero / estiércol)**

Día	Suero / Estiércol (5:1)			Promedio	STD (l/día)	CV %
	Tratamiento 2					
	T2R1	T2R2	T2R3			
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1	sp	sp	sp	sp	sp	sp
2	25.20	26.40	19.50	23.70	3.69	15.55%
3	sp	sp	sp	sp	sp	sp
4	sp	sp	sp	sp	sp	sp
5	sp	sp	sp	sp	sp	sp



Día	Suero / Estiércol (5:1)			Promedio	STD (l/día)	CV %
	Tratamiento 2					
	T2R1	T2R2	T2R3			
6	sp	sp	sp	sp	sp	sp
7	sp	sp	sp	sp	sp	sp
8	sp	sp	sp	sp	sp	sp
9	sp	sp	sp	sp	sp	sp
10	sp	sp	sp	sp	sp	sp
11	sp	sp	sp	sp	sp	sp
12	sp	sp	sp	sp	sp	sp
13	sp	sp	sp	sp	sp	sp
14	sp	sp	sp	sp	sp	sp
15	9.50	5.40	8.40	7.77	2.12	27.32%
16	24.60	22.40	24.20	23.73	1.17	4.94%
17	22.00	19.40	21.90	21.10	1.47	6.98%
18	25.40	17.30	18.60	20.43	4.35	21.29%
19	18.30	15.30	14.70	16.10	1.93	11.98%
20	7.80	10.40	8.30	8.83	1.38	15.62%
21	4.70	8.60	6.40	6.57	1.96	29.78%
22	3.30	4.30	5.10	4.23	0.90	21.30%
23	3.20	3.20	0.00	2.13	1.85	86.60%
24	2.70	0.00	5.40	2.70	2.70	100.00%
25	0.00	2.70	5.70	2.80	2.85	101.83%
26	1.80	1.60	3.20	2.20	0.87	39.63%
27	0.00	0.50	0.00	0.17	0.29	173.21%
28	sp	sp	sp	sp	sp	sp
29	sp	sp	sp	sp	sp	sp
30	sp	sp	sp	sp	sp	sp
<b>T</b>	<b>148.50</b>	<b>137.50</b>	<b>141.40</b>	<b>142.47</b>	<b>5.58</b>	<b>3.91%</b>
	<b>% de Biogás</b>			<b>356.17%</b>		

**ND** = No determinado

**Sp** = Sin producción

**STD** = Desviación estándar

**CV** = Coeficiente de variación

#### Condiciones de trabajo:

- Mezcla (kg): 40 kg (33.33 kg de suero lácteo y 6.67 kg de excreta bovina).
- Sustancia para regular el pH: Ca(OH)<sub>2</sub>
- Rango de regulación del pH: 6.5 a 7.5
- Producción de biogás (%): Mezcla (kg) / litros de biogás x100  
(142.47/40.00 x 100 = 356.17%)

En relación al análisis estadístico del tratamiento 2, correspondiente a la mezcla 5:1, se puede apreciar que la producción de biogás empezó en el día 2, luego hubo un periodo de 12 días donde no se advirtió la producción de biogás, seguido de otro periodo del día 15 al 27 donde si hubo producción de biogás, pero al mismo tiempo esta producción de biogás es heterogénea sobre todo en los últimos días, por presentar valores de desviación estándar cercanas al promedio y con coeficiente de variación por encima del 30%. Al analizar la producción total de biogás de la Tabla N° 17, por cada repetición, se puede observar que la desviación estándar es de 5.58 litros con un coeficiente de variación de 3.91%, a lo que podemos afirmar que hay una producción total que es homogénea dentro del tratamiento.

**Tabla N° 18: Producción de biogás en la mezcla 7:1 (suero / estiércol)**

Día	Suero / Estiércol (7:1)			Promedio	STD (l/día)	CV %
	Tratamiento 1					
	T1R1	T1R2	T1R3			
0	sp	sp	sp	sp	sp	sp
1	sp	sp	sp	sp	sp	sp
2	6.50	8.40	5.70	6.87	1.39	20.20%
3	sp	sp	sp	sp	sp	sp
4	sp	sp	sp	sp	sp	sp
5	sp	sp	sp	sp	sp	sp
6	sp	sp	sp	sp	sp	sp
7	sp	sp	sp	sp	sp	sp
8	sp	sp	sp	sp	sp	sp
9	sp	sp	sp	sp	sp	sp
10	sp	sp	sp	sp	sp	sp
11	sp	sp	sp	sp	sp	sp
12	sp	sp	sp	sp	sp	sp
13	sp	sp	sp	sp	sp	sp
14	sp	sp	sp	sp	sp	sp
15	3.80	3.40	4.50	3.90	0.56	14.28%
16	9.40	12.60	8.40	10.13	2.19	21.65%
17	10.20	10.40	11.40	10.67	0.64	6.03%
18	5.20	16.20	7.40	9.60	5.82	60.63%
19	8.50	6.20	5.40	6.70	1.61	24.02%

Día	Suero / Estiércol (7:1)			Promedio	STD (l/día)	CV %
	Tratamiento 1					
	T1R1	T1R2	T1R3			
20	6.50	7.40	10.60	8.17	2.15	26.39%
21	3.40	0.00	3.10	2.17	1.88	86.88%
22	0.00	4.50	0.00	1.50	2.60	173.21%
23	6.20	0.00	3.00	3.07	3.10	101.10%
24	0.00	3.20	0.00	1.07	1.85	173.21%
25	0.00	0.00	2.80	0.93	1.62	173.21%
26	sp	sp	sp	sp	sp	sp
27	sp	sp	sp	sp	sp	sp
28	sp	sp	sp	sp	sp	sp
29	sp	sp	sp	sp	sp	sp
30	3.30	0.00	0.00	1.10	1.91	173.21%
31	0.00	0.00	3.50	1.17	2.02	173.21%
32	2.40	2.60	0.00	1.67	1.45	86.81%
33	1.80	3.40	3.60	2.93	0.99	33.63%
34	0.00	0.90	4.20	1.70	2.21	130.08%
35	1.20	0.00	2.70	1.30	1.35	104.06%
36	sp	sp	sp	sp	sp	sp
<b>T</b>	<b>68.40</b>	<b>79.20</b>	<b>76.30</b>	<b>74.63</b>	<b>5.59</b>	<b>7.49%</b>
	<b>% de Biogás</b>			<b>186.58%</b>		

**Sp** = Sin producción

**STD** = Desviación estándar

**CV** = Coeficiente de variación

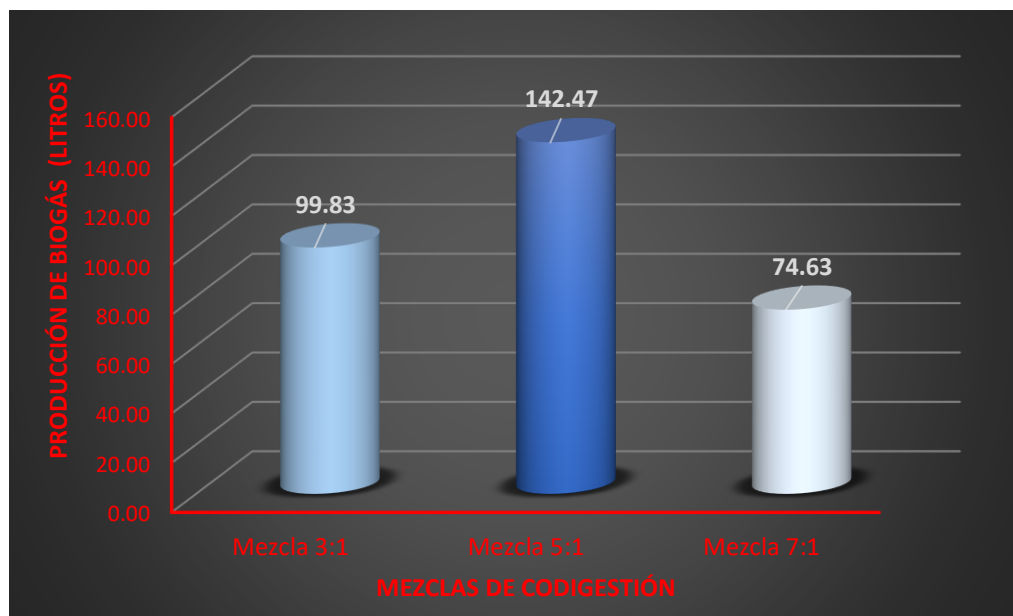
#### Condiciones de trabajo:

- Mezcla (kg): 40 kg (35.00 kg de suero lácteo y 5.00 kg de excreta bovina).
- Sustancia para regular el pH: Ca(OH)<sub>2</sub>
- Rango de regulación del pH: 6.5 a 7.5
- Producción de biogás (%): Mezcla (kg) / litros de biogás x100  
(74.63/40.00 x 100 = 186.58%)

Con relación al análisis estadístico del tratamiento 3, correspondiente a la mezcla 7:1, se puede apreciar que la producción de biogás se ha producido en 3 picos de producción; el primer pico corto se dio el día 2, luego el segundo pico de producción se dio del día 15 al 25 y el tercer pico se dio del día 30 al 35, entre cada pico hubo periodos sin producción

de biogás. Al realizar el análisis estadístico podemos observar que la producción de biogás diaria, del día 15 al 25 y del 30 al 35, no es homogénea por presentar una desviación estándar alejada del promedio y un coeficiente de variación elevado por encima del 30%. Pero si analizamos la producción total de biogás de la Tabla N° 18, por cada muestra, se puede observar que el promedio de producción acumulada es de 74.63 litros con una desviación estándar de 5.59 litros con un coeficiente de variación de 7.49%, a lo que podemos afirmar que hay una producción total que es homogénea dentro del tratamiento.

**Figura N° 8: Promedio de producción por tratamiento**



Los tratamientos correspondientes a las mezclas 3:1, 5:1 y 7:1, mostraron un promedio de producción acumulada de 99.83, 142.47 y 74.63 litros de biogás. Al obtener un promedio general nos arroja un valor de  $105.64 \pm 34.29$  litros y un coeficiente de variación de 32.46%, esta información se ha sometido al análisis estadístico mediante un diseño completo al azar (DCA) que se muestra más adelante.

**Figura N° 9: Producción de biogás acumulada por cada tratamiento**

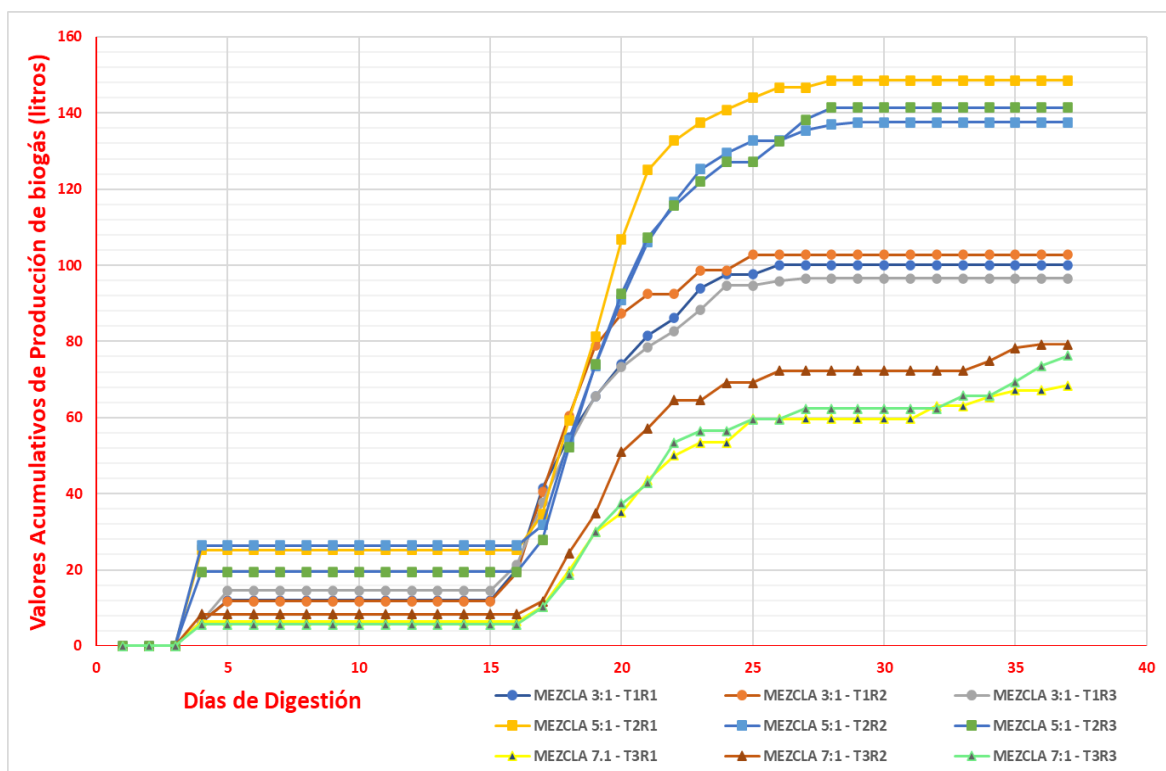


Imagen 9. Valores acumulativos de producción de biogás para las tres mezclas de suero y estiércol bovino. Las curvas están etiquetadas por proporciones de mezcla. Los colores de la curva y el símbolo indican los tratamientos y sus repeticiones.

En el análisis estadístico se realizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), debido a que los tratamientos han sido asignados en forma aleatoria a las unidades experimentales, o viceversa, sin ninguna restricción. El arreglo de campo ha sido planteado de la siguiente manera: Se ha investigado el efecto de tres mezclas de suero lácteo con estiércol bovino, sobre el volumen de producción de biogás. La estrategia experimental es aplicar tres veces las tres mezclas en orden completamente aleatorio (las 9 pruebas en orden aleatorio). Si se usa el diseño completamente al azar (DCA), se supone que, además de la mezcla, no existe ningún otro factor que influya de manera significativa sobre la variable de respuesta (volumen de producción).

**Tabla N° 19: Esquema de diseño, mezcla de suero y estiércol**

Repeticiones	TRATAMIENTOS		
	Mezcla 3:1	Mezcla 5:1	Mezcla 7:1
1	100.10	148.50	68.40
2	102.80	137.50	79.20
3	96.60	141.40	76.30

**Tabla N° 20: Análisis de varianza**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7054.00222	2	3527.00111	146.9379716	8.00993E-06	5.14325285
Dentro de los grupos	144.02	6	24.0033333			
Total	7198.02222	8				

Según el análisis de varianza el  $F$  calculado (146.93) fue mayor que el  $F$  teórico (5.14), por lo cual se afirma que hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo cual se procedió a realizar el método de Tukey para conocer entre que tratamientos existe diferencia significativa.

Según los cálculos efectuados mediante el método de Tukey, existe diferencia significativa entre todos los tratamientos, es decir hay diferencia estadística entre las mezclas 3:1, 5:1 y 7:1 (mezcla 3:1  $\neq$  mezcla 5:1  $\neq$  mezcla 7:1).

Durante el proceso de biodigestión la composición del biogás fue variable, se hizo una evaluación cualitativa y cuantitativa sobre el contenido de metano en el gas producido, que se puede apreciar en las tablas N° 21 y 22.

**Tabla N° 21: Características cualitativas del biogás producido**

DÍA	MEZCLA 3:1		MEZCLA 5:1		MEZCLA 7:1	
	Promedio	Evaluación	Promedio	Evaluación	Promedio	Evaluación
0	sp		sp		sp	
1	sp		sp		sp	
2	6.33	No Inflamable	23.70	No Inflamable	6.87	No Inflamable
3	6.43	No Inflamable	sp		sp	
4	sp		sp		sp	
5	sp		sp		sp	
6	sp		sp		sp	
7	sp		sp		sp	
8	sp		sp		sp	
9	sp		sp		sp	
10	sp		sp		sp	
11	sp		sp		sp	
12	sp		sp		sp	
13	sp		sp		sp	
14	7.57	Inflamable	sp		sp	
15	19.57	Inflamable	7.77	No Inflamable	3.90	No Inflamable
16	16.17	Inflamable	23.73	No Inflamable	10.13	No Inflamable
17	13.93	Inflamable	21.10	Inflamable	10.67	No Inflamable
18	8.20	No Inflamable	20.43	Inflamable	9.60	No Inflamable
19	5.97	No Inflamable	16.10	Inflamable	6.70	No Inflamable
20	2.90	No Inflamable	8.83	Inflamable	8.17	No Inflamable
21	6.57	No Inflamable	6.57	Inflamable	2.17	No Inflamable
22	3.33	No Inflamable	4.23	No Inflamable	1.50	No Inflamable
23	1.40	No Inflamable	2.13	No Inflamable	3.07	No Inflamable
24	1.20	No Inflamable	2.70	No Inflamable	1.07	No Inflamable
25	0.27	No Inflamable	2.80	No Inflamable	0.93	No Inflamable
26	sp		2.20	No Inflamable	sp	
27	sp		0.17	No Inflamable	sp	
28	sp		sp		sp	
29	sp		sp		sp	
30	sp		sp		1.10	No Inflamable
31	sp		sp		1.17	No Inflamable
32	sp		sp		1.67	No Inflamable
33	sp		sp		2.93	No Inflamable
34	sp		sp		1.70	No Inflamable
35	sp		sp		1.30	No Inflamable

**Sp** = Sin producción de biogás

Para caracterizar de manera cualitativa se realizó pruebas de incineración, para conocer si el biogás producido era o no inflamable,

resultando que en la mezcla 3:1 produjo gas inflamable durante 4 días; en la mezcla 5:1 produjo gas inflamable a partir del día 17 al 21, es decir por un espacio de 5 días; en la mezcla 7:1 no hubo producción de biogás inflamable.

**Tabla N° 22: Características cuantitativas del biogás producido**

DÍA	MEZCLA 3:1	MEZCLA 5:1	MEZCLA 7:1
	% Metano	% Metano	% Metano
Día 2	0%	0%	0%
Día 15	58%	35%	22%
Día 20	32%	65%	36%
Día 25	11%	38%	21%

En cuanto a la evaluación cuantitativa se verificó la cantidad de metano presente a los 2, 15, 20 y 25 días; en la mezcla 5:1 hubo una mayor producción de biogás en comparación de la mezcla 3:1 y 7:1, lo cual está en correspondencia a la cantidad de días que el biogás era inflamable, además se puede apreciar que la concentración de metano incrementa para luego descender.



## V. DISCUSIÓN

El estiércol bovino antes de efectuar la mezcla tuvo una relación carbono/nitrógeno de 29.53:1, que es cercana al valor publicado por la FAO (2019), de 25:1. Cabe mencionar que el estiércol recogido fue fresco, recolectado directamente en la mañana del corral donde dormían las vacas, este punto es importante puesto que la misma FAO (2019) manifiesta que la relación puede ser baja en el estiércol de vaca si estuvo mucho tiempo expuesto a una degradación aeróbica antes de ingresar al biodigestor. Zambrano M. C. (2016), en referencia a la relación carbono/nitrógeno del estiércol bovino, obtuvo resultados de 36.75% de carbono y 2.07% de nitrógeno que da como resultado una relación de 17.8:1, este resultado difiere al encontrado en nuestra investigación que es de 8.27% de carbono y 0.28% de nitrógeno que nos da como resultado una relación de 29.53:1. Analizando cuales son las causas de la diferencia podría atribuirse a que el estiércol de bovino empleado en la investigación realizada por Zambrano, M. C. (2016) procede de vacas de alta producción, alimentados con dieta balanceada, mientras que en nuestro caso procede de vacas de baja producción y alimentadas principalmente con pastos naturales pobres en nutrientes; Del Pozo (2008) obtuvo una relación C/N de 27.7 y Jaimes-Estévez y col. (2022) obtuvieron una relación de 27.14, que son parecidos al encontrado en la presente investigación. Así mismo, nuestros resultados difieren con el obtenido por Saico (2003) quien obtuvo una relación C/N de 10.9. Al respecto de la relación C/N, Mucha, (2005) manifiesta que esta relación está en función de la dieta del animal, por lo cual al hacer las comparaciones pertinentes es necesario conocer la procedencia del estiércol.

En referencia a la relación carbono/nitrógeno del suero de quesería Zambrano M. C. (2016), obtuvo resultados de 3.74% de carbono y 0.13% de nitrógeno que da como resultado una relación de 28.8:1; también Jaimes - Estévez y col. (2022) reportaron una relación C/N de 22.1; estos

resultados son relativamente cercanos al reportado en el presente estudio que obtuvimos 3.60% de carbono y 0.16% de nitrógeno que nos da como resultado una relación de 22.50:1.

En base a los resultados de la relación carbono / nitrógeno utilizado en las tres mezclas (3:1, 5:1 y 7:1) estos se encontraron en los valores de 23.38, 23.67 y 24.26, por lo cual se encuentra en un margen óptimo, al respecto la FAO (2019) menciona que los rangos óptimos dentro del biodigestor van de 20:1 a 30:1, por estas consideraciones no fue necesario hacer ninguna manipulación adicional de las mezclas para alimentar los biodigestores.

Acerca de la materia seca y grado de mezclado la FAO, (2019) afirma que la biodigestión húmeda ocurre en un medio líquido con porcentajes de sólidos que van del 1% al 15-17%; en ese sentido según los resultados obtenidos en la mezcla 3:1 fue de 8.65%, mezcla 5:1 fue de 8.00% y en la mezcla 7:1 fue de 7.67%, por lo cual se puede afirmar que se trabajó en biodigestión húmeda; como se puede apreciar se trabajó la biodigestión en concentraciones entre 7.67 y 8.65%, esta concentración de sólidos totales nos permitió plantear una agitación de la mezcla cada 12 horas, viendo que las mezclas no son muy densas; además, no fue necesario adicionar agua a las mezclas por la baja concentración de sólidos totales. Sin embargo, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2013) recomienda que en sistemas discontinuos como en nuestro caso la cantidad de sólidos totales debe estar entre 40% a 60%, no se ha podido cumplir con esta recomendación en vista que el suero lácteo contiene alto porcentaje de agua y previó a someter a biodigestión tendría que someterse a deshidratación, además se entiende que a mayor cantidad de sólidos totales menor movilidad de las bacterias por lo que se tendría que incrementar la frecuencia de agitación.

En cuanto al potencial de hidrogeniones (pH), la FAO (2019) afirma al respecto que es fundamental efectuar un control periódico del pH, con el fin de efectuar correcciones del pH antes de que llegue a un punto de no retorno, en el cual metabolismo de los microorganismos metanogénicos se inhiba y no se produzca biogás. Un pH óptimo se encuentra en el rango de 7.0 a 7.8; al respecto Saddoud et al. (2006) mencionó que la acidificación de la leche se inicia rápidamente y se activa aun a temperaturas bajas, por lo cual el pH del suero de quesería depende del momento en que se analiza; lo que corroboró al iniciar su investigación con pH de 4.9 a pesar de haber sido refrigerados; lo mismo Hernández (2015) asevera que el lactosuero tiene tendencia a la acidificación debido a la generación de ácidos volátiles en las etapas tempranas del proceso. En el estudio desarrollado por Cisneros, et al. (2021) el lactosuero tuvo un pH de  $6.52 \pm 0.009$  y para el estiércol líquido de vaca obtuvo  $7.12 \pm 0.00$ ; en la misma línea Zambrano, M. (2016), obtuvo un pH de 6.5 para el suero de quesería y 7.5 para estiércol vacuno; así mismo, estos resultados concuerdan con el pH reportado por Miranda et al. (2008) que fue de  $6.620 \pm 0.80$ . Sobre el pH del estiércol bovino nuestro resultado obtenido de 7.28 es coincidente por el reportados por Ghaly (1996) de 7.0, por Masse et al. (2000) de 6.8. No se puede hacer mayor conjetura sobre las variaciones en el resultado debido a que hay factores en el animal que pueden hacer variar los resultados como la edad del animal, tipo de alimentación, frescura de la muestra, etc.; por lo cual durante la investigación se hizo el control de este parámetro para mantenerlo cercano a la neutralidad, agregando hidróxido de calcio.

Para ajustar el pH se ha utilizado hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) al igual que Zambrano, M. (2016); pero diferente fue el caso de Cisneros, et al. (2021) que utilizó NaOH 5N y HCl 3N. La decisión de usar  $\text{Ca(OH)}_2$  se tomó principalmente por cuestiones económicas debido a que este producto llega a costar aproximadamente veinte veces menos que el NaOH y una de las metas de la investigación es que los productores de derivados lácteos puedan replicar la investigación.

Sobre la temperatura la FAO (2019) menciona que depende de muchas variables, como la tecnología empleada en el biodigestor, los materiales de construcción del biodigestor, la región y el clima en donde se encuentre, y la temperatura de la mezcla utilizada para su alimentación. En nuestro caso la biodigestión se hizo en la provincia de Espinar del departamento de Cusco, ubicada sobre los 3900 m. s. n. m. y con una temperatura ambiental mínima de  $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura máxima de  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los meses de octubre, noviembre y diciembre. El rango de temperatura en el que ocurre el proceso de biodigestión es considerablemente amplio, entre  $10$  y  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tomando en cuenta la temperatura, los biodigestores y los procesos se pueden agrupar principalmente en tres grupos: Psicófilos cuando operan dentro de un rango de  $10$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Mesófilos cuando operan en un rango de  $25$  a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y Termófilos cuando operan en un rango de  $40$  a  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FAO, 2019); en base a esta clasificación, podemos afirmar que la investigación se ha desarrollado a una temperatura psicófila. Experiencias anteriores como la de Jaimes – Estévez, J. y col. (2022) confirma la viabilidad de codigestión anaerobia en un régimen psicrófilo (temperatura alrededor de los  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e incluso menciona que la codigestión tiene efectos más positivos en condiciones psicrófilas que mesófilas.

Para mejorar las condiciones de temperatura del proceso de biodigestión se ha construido un invernadero dentro del cual se ha colocado los biodigestores. La temperatura del aire dentro del invernadero se incrementa con los primeros rayos del sol, lo cual provoca el incremento de la temperatura de biodigestión. El material utilizado en la cubierta del invernadero fue de agrofílm calibre 10 (254 micras), el cual tiene entre sus ventajas la alta difusión de la luz (60%) que evita sombras dentro del invernadero, también presenta un óptimo efecto termoaislante (13%) reduciendo el enfriamiento nocturno, lo que el agrofílm es idóneo para zonas con fuerte insolación diurna y bajas temperaturas nocturnas (Duran, J. y col. 2016). En un invernadero de uso normal el mayor problema es el control de temperatura, lo que se puede hacer a través

de la construcción de ventanas, lo cual permite la circulación de aire en forma natural (Duran, J. y col. 2016); en la presente investigación se ha obviado la construcción de ventanas puesto que se buscaba una mayor temperatura ambiental para el proceso de biodigestión. Jaimes – Estévez, J. y col. (2022) en su investigación afirma que los valores ambientales máximos y mínimos fueron de 18.6 y 16 °C, mientras que la temperatura del purín se mantuvo constante con un valor medio de 21.3 °C  $\pm$  0.2 y que estos 3.6 °C de diferencia se explican por la ganancia de radiación solar del sistema debido al color negro de la geomembrana, que actúa como un sistema de calentamiento solar pasivo.

Sobre la agitación, la FAO (2011) indica que esta acción aumenta la producción de gas y disminuye el TRH, por lo cual se implantó la agitación dos veces por día con separación de 12 horas; este parámetro es uno de los que posiblemente haya favorecido para que el tiempo de retención hidráulica se disminuya en nuestra investigación. Consideramos que la agitación está íntimamente ligada la cantidad o porcentaje de sólidos totales en las mezclas, mayor cantidad de sólidos totales demandarán mayor frecuencia de agitación para así favorecer la movilidad de las bacterias metanogénicas.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) para nuestra investigación ha sido de 24 $\pm$ 1 días para la mezcla 3:1; 26 $\pm$ 0.58 días para la mezcla 5:1 y 35 $\pm$ 0.58 días para la mezcla 7:1, contrariamente a lo que manifiestan autores como la FAO (2019), que indica que a temperatura psicrófila el TRH es de 50 a 120 días, pero cabe indicar que nuestros tiempos son menores debido a que se han controlado los parámetros como el pH, la temperatura y la agitación lo cual ha podido causar una mayor actividad metanogénica. Además, hacemos notar que la temperatura del agua durante el día, dentro del invernadero llegaba hasta 26 °C entre las 12 y 15 horas. Otros estudios efectuados a nivel de laboratorio por Cisneros, S. et al. (2021) a temperatura constante de 35 °C y agitación de 150 RPM tuvieron un tiempo de retención hidráulica de 17 días, estas condiciones

de laboratorio coinciden con los tiempos probables mencionados por la FAO 2019. En el estudio desarrollado por Jordán (2021) el TRH fue de 61 días, observándose que durante las primeras 8 semanas el pH tuvo una disminución drástica mostrando pH ácido, este parámetro de pH ácido a podido ser causante de que haya un TRH largo, por lo cual podemos afirmar que no solo la temperatura determinar el TRH, sino también otros parámetros como el pH.

La producción de biogás ha sido posible mediante la codigestión anaerobia entre el suero lácteo y estiércol bovino, tomando en cuenta lo manifestado por Madrigal y col., (2022) quienes consideran al suero de queso puro un residuo difícil de manejar, en el mismo sentido concordamos con Rico y col. (2015) que afirman que las dificultades en la digestión anaeróbica del suero de queso, como la acidificación, pueden resolverse codigeriendo el suero de queso con una proporción de estiércol líquido. En cuanto a la producción de biogás producido, para la mezcla de 3:1 ha sido de 249.58%; para la mezcla 5:1 la producción de biogás fue de 356.17% y para la mezcla 7:1 la producción de biogás fue de 186.58%; numéricamente el mayor volumen de producción de biogás fue la mezcla 5:1 (5 suero lácteo con 1 de estiércol bovino). Al respecto nuestros resultados no llegan a concordar con los obtenidos por Zambrano, M. (2016), que menciona una producción de 510% de biogás para el suero de quesería y 871% de biogás para la mezcla estiércol/suero de quesería en proporción 1/7; esta diferencia puede atribuirse a la temperatura de biodigestión, que en el caso de Zambrano M. (2016) experimentaron a temperatura mesófila; así mismo, se puede atribuir esta diferencia debido a la composición del estiércol, puesto que los reportes de Zambrano, M. (2016) obtuvo resultados de 36.75% para carbono y 2.07% para nitrógeno, mientras que en nuestro estudio se obtuvo 8.27% de carbono y 0.28% de nitrógeno. Esto se refuerza debido a que la producción de biogás se suspende una vez que se ha consumido la materia orgánica. En la mezcla 7:1 (suero lácteo: estiércol), puede atribuirse menor producción de biogás debido a que las

reacciones de biodegradación no ocurrirán si la cantidad de microorganismos no es suficiente, afectando la producción de biogás (Nazaitulshila et al. 2015) citado por Cisneros S. y col., 2022.

En referencia a la composición de biogás, debemos tomar en cuenta que se trata de una mezcla gaseosa conformada sobre todo por metano y dióxido de carbono, con diversas impurezas. El material digerido y el funcionamiento del proceso influye en la composición del biogás, además, cuando se considera que el biogás inflamable tiene un contenido de metano superior al 45% (FAO, 2019), al respecto se hizo la comprobación sobre la inflamabilidad del biogás obteniéndose mejores resultados en la mezcla 5:1 de suero de quesería y estiércol bovino. Cuantitativamente se puede apreciar que la cantidad de metano varía a lo largo de los días que se produce el biogás, según la concentración de metano la mezcla 5:1 es la que mejor comportamiento ha presentado.

## VI. CONCLUSIONES

Se puede afirmar que un adecuado control de los parámetros mejora el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina. Sobre el parámetro relación carbono/nitrógeno (C/N), las mezclas en proporciones 3:1, 5:1 y 7:1 tuvieron una relación de 24.26:1, 23.67:1 y 23.38:1 respectivamente, resultados que están dentro del rango óptimo de 20:1 a 30:1. Acerca del pH, se ha obtenido valores para el suero lácteo de 6.84 y para el estiércol bovino de 7.28, cabe mencionar que la tendencia del suero lácteo es la acidificación por lo cual requiere un control del pH, para el estudio se utilizó hidróxido de calcio como amortiguador del pH, adicionando por un espacio de 15 días hasta que se estabilice el pH en las mezclas. En el análisis de la temperatura, este es considerado como el factor crítico en nuestro estudio, por cuanto el estudio se desarrolló en un lugar frígido, por lo cual se mejoró la temperatura instalando los biodigestores dentro de un invernadero, lo cual provoca una mejor temperatura de biodigestión. Se ha experimentado a temperatura psicrófila, en un rango de 15 °C a 26 °C, lo cual ha permitido disminuir el tiempo de retención hidráulica. Otro de los parámetros controlados fue la agitación, estableciéndose una agitación mecánica por 5 minutos a revolución lenta, cada 12 horas, este parámetro ha contribuido a disminuir el tiempo de retención hidráulica y por ende mejorar la producción de biogás. Controlar y mejorar las condiciones de relación carbono/nitrógeno, cantidad de sólidos totales, pH, temperatura y agitación, ha permitido mejorar el tiempo de retención hidráulica, reduciendo a un tiempo máximo de 35 días.

La cantidad de biogás producido para la mezcla de suero lácteo y estiércol bovino de 3:1 ha sido de 249.58%; para la mezcla 5:1 la producción de biogás fue de 356.17% y para la mezcla 7:1 la producción de biogás fue de 186.58%, por lo cual se concluye que hubo una mayor producción de biogás en la mezcla 5:1. Sobre la composición del biogás ha sido variada a lo largo del proceso de biodigestión, según la evaluación cualitativa, observando si el biogás producido es o no inflamable, se pudo apreciar en la mezcla 3:1 que hubo 4 días de producción de biogás inflamable, en la mezcla 5:1 hubo 5 días



de producción de biogás inflamable y en la mezcla 7:1 ningún día de producción de biogás el gas fue inflamable. Al realizar la evaluación cuantitativa se pudo apreciar que la mayor producción de metano se dio en la mezcla 5:1 en el cual el día 20 llegó a un máximo de 65% de metano en la composición del biogás.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Evaluar otros productos que puedan regular el pH de suero lácteo a niveles neutros, como el bicarbonato de sodio, carbonato de calcio.

Para realizar la digestión anaerobia en un sistema discontinuo o batch, se recomienda evaluar el porcentaje de materia seca o sólidos totales de tal manera que se plantee cual será la frecuencia de agitación.

Evaluar con mezclas de suero lácteo y estiércol bovino incrementando la proporción del estiércol bovino por ser un agente alcalino que puede regular el pH sin necesidad de adicionar reguladores del pH, se sugiere probar con incrementos del estiércol bovino hasta un 50% en la mezcla.

Se debe investigar otras alternativas viables y rentables económicamente para mejorar la temperatura de biodigestión, tomando en cuenta que a nivel del país se tiene 6500 plantas queseras pequeñas, gran parte ubicadas en zonas de bajas temperaturas.

Se recomienda evaluar a diario la composición del biogás producido de tal manera que se pueda determinar con mayor precisión como es la producción de metano (curva de producción).

## REFERENCIAS

Abbas Y., Yun S., Wang Z., Zhang Z., Zhang X., Wang K. (2021). Recent advances in bio-based carbon materials for anaerobic digestion: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 135, 110378, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110378>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120306663>)

Abdallah, M., Greige, S., Beyenal, H., Harb, M. y Wazne, M. (2022). Investigating microbial dynamics and potential advantages of anaerobic co-digestion of cheese whey and poultry slaughterhouse wastewaters. *Scientific Reports*. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-14425-1>.

Achinas S., Li Y., Achinas V. y Euverink G.J. (2018). Influence of sheep manure addition on biogas potential and methanogenic communities during cow dung digestion under mesophilic conditions. *Sustain. Environ. Res.* 28 (5), 240-246. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.03.003>

Alessio, Siciliano, Limonti, Carlo, Curcio, Giulia Maria, Calabro, Vincenzo, 2019. Biogas generation through anaerobic digestion of stirred tank reactors. *Processes* 7, 635. <https://doi.org/10.3390/pr7090635>.

Antonelli J., Lindino C.A., de Azevedo J.C.R., de Souza S.N.M., Cremonez P.A. y Rossi E. (2016). Biogas production by the anaerobic digestion of whey. *Rev. Ciênc. Agrár.* 39 (3), 463-468. <https://doi.org/10.19084/RCA15087>

Araujo Guerra, Á. V., Monsalve Castro, L. M., & Quintero Tovar, A. L. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. *Revista de Investigación Agraria y y Ambiental*, 4(2), 55–66.

Arhoun, B. (2017). *Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora*. Tesis de doctorado, Universidad de Málaga.

Arias Chicaiza, J. F. (2019). *Potencial energético del biogás de la co-digestión del suero lácteo y el estiércol bovino* [Tesis de grado, Universidad de Las Américas]. Repositorio Institucional - Universidad de Las Américas.

Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. *Agroindustrial Science*, 11(1), 105-116.

<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>

Barrena, M., Gamarra, O., Milla, M., Fellenberg, T., & Ordinola, C. (2017). Optimización de la producción de biogás a escala de laboratorio a partir de estiércol de bovino, lactosuero y totora (*Scirpus californicus*). *INDES Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(2), 60–66.

<https://doi.org/10.25127/indes.201502.007>

Bella, K., Rao, P.V., 2021. Anaerobic digestion of dairy wastewater: effect of different parameters and co-digestion options—a review. In: *Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

<https://doi.org/10.1007/s13399-020-01247-2>.

Bella, K., Pilli, S., Venkateswara P. (2023). A comparison of ultrasonic, ozone, and enzyme pre-treatments on cheese whey degradation for enhancement of anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, Volume 340, 117960, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117960>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972300748X>)

Bella, K. y Venkateswara, P. (2022). Anaerobic co-digestion of cheese whey and septage: Effect of substrate and inoculum on biogas production, *Journal of Environmental Management*, Volume 308, 114581, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114581>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722001542>)

Carhuancho, F. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8048>

Carlini, M., Castellucci, S. y Moneti, M. (2015). Biogas production from poultry manure and cheese whey wastewater under mesophilic conditions in batch reactor. Energy Procedia 82, 811-818. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.817>

Castañeda Arrascue, L. M. (2019). Potencial de Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de lactosuero residual y excretas bovinas en Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Trujillo

CASTILLO, G. 2012. Evaluación de codornaza y gallinaza de granjas avícolas para la producción de biogás y bioabono mediante digestión anaeróbica. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Carrasco, S. (2005). Metodología de la Investigación Científica: pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Editorial San Marcos. Lima – Perú.

Chatzipaschali A.A. y Stamatis A.G. (2012). Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: current status and prospects. Energies 5 (9), 3492-3525. <https://doi.org/10.3390/en5093492>

Charalambous P., Shin J., Shin S., Vyrides L. (2020). Anaerobic digestion of industrial dairy wastewater and cheese whey: Performance of internal circulation bioreactor and laboratory batch test at pH 5-6, Renewable Energy, Volume 147, Part 1, Pages 1-10, ISSN 0960-1481. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.091>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119312789>)

Chiappero M., Norouzi O., Hu M., Demichelis F., Berruti F., Di Maria F., Mašek O., Fiore S. (2020). Review of biochar role as additive in anaerobic digestion processes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 131, 110037, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110037>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120303282>)

Chun C.W., Mohd N.F. y Zainol N. (2015). Optimization of biogas production from poultry manure wastewater in 250 ml flasks. *J. Teknol.* 75 (1), 275-285. <https://doi.org/10.11113/jt.v75.3981>

Cisneros S., Veana F., Arjona M. A., Álvarez C. L., y Pérez S. B. (2021). Optimization of variables from the anaerobic digestion process of cheese whey in biogas production. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 37, 307-318, 2021.

<https://doi.org/10.20937/RICA.53879>

Comino E., Riggio, V.A. y Rosso M. (2012). Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresour. Technol.* 114 (2012), 46-53.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.090>

Costamagna, P., Giordano, A., Lazzarini, Y., Delucchi, M., Busca, G., 2020. Process of ammonia removal from anaerobic digestion and associated ammonium sulphate production : pilot plant demonstration. *J. Environ. Manag.* 259, 109841.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109841>.

De Souza, P., Aparecida, C., Pereira, F., Kimiko, I., Amâncio, M. B. y Silva, E. L. (2022). Thermophilic anaerobic co-digestion of glycerol and cheese whey – Effect of increasing organic loading rate. *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 165, 2022, Pages 895-907, ISSN 0957-5820,

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.045>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582022006577>)

Del pozo, A. 2008. Evaluación del proceso de compostaje del estiércol de vacuno empleando buenas prácticas de manejo. Tesis UNALM. Lima Perú.

Díaz Báez, M., Molina, F., & Espitia Vargas, S. (2002). Digestión Anaerobia: una aproximación a la tecnología. Bogotá, Colombia: Fundación Syngenta para la Agricultura Sostenible – SFSA, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas – CBC.

Duran, J., Cutipa, D., Quispe, H., Amezaga, C. y Salcedo, A. (2016). Guía de construcción y manejo de invernaderos para la producción de hortalizas y frutas en zonas altoandinas. Cusco, Perú: UNIBIBIOS.

Elsayed M, Diab A, Soliman M (2020) Producción de metano a partir de la codigestión anaeróbica de lodos con desechos de frutas y verduras: efecto de la proporción de mezcla y el tipo de inóculo. Biomasa Convers Biorrefinería:1–10. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00785-z>

Escalante H., Castro, L. Amaya, M. P., Jaimes, L., Jaimes-Estévez J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries, Waste Management, Volume 71, Pages 711-718, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.026>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17306943>)

FAO. (2011). *Manual del Biogás*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>

FAO (2019a) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Portal lácteo: composición de la leche. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>

FAO (2019b) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca5082es/ca5082es.pdf>

Ghaly, E. 1996. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairy manure in two stage reactor. Bioresource Technology. Canada.

Gensollen, G., Pourcher, A. M., Duedal, A. L., Picard, S., Le Roux, R. y Peu, P. (2022). Impact of pH in the first-stage of a two-stage anaerobic digestion on metabolic pathways and methane production. *Bioresource Technology Reports*, Volume 20, 101256, ISSN 2589-014X, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101256>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X22003139>)

Gonzalez - Piedra, S., Hernández-García, H., Perez-Morales, J.M., Acosta-Domínguez, L., Bastidas-Oyanedel, J.R., Hernández. (2015). *Producción de biogás con suero de queso*.

[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=produccion+debiogas%2BLACTOSUERO&ots=49R-\\_pZf34&sig=Y3QJFKCQhHFHq0d0Y4BST8\\_4pNU&redir\\_esc=y&fbclid=IwAR2nwB5nePX4KFRL7ZOyvFgFzDpFr6Q7Wz7v\\_VgB04ljhtAppl\\_LxaKe5Lo#v=onepage&q=prod](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=produccion+debiogas%2BLACTOSUERO&ots=49R-_pZf34&sig=Y3QJFKCQhHFHq0d0Y4BST8_4pNU&redir_esc=y&fbclid=IwAR2nwB5nePX4KFRL7ZOyvFgFzDpFr6Q7Wz7v_VgB04ljhtAppl_LxaKe5Lo#v=onepage&q=prod)

Guerrero Haber, J. R., Ramírez Perú, A. L., Puente Vidal, W. (2011) Caracterización del suero de queso blanco del combinado lácteo Santiago. *Tecnología Química*, Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba (31) 3, 93-100. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543774010.pdf>

Hernández. (2015). *Producción de biogás con suero de queso*.

<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAQBAJ&oi=fnd&pg=>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, L. (2015). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

Hernandez - Martinez, E., 2021. A study on the feasibility of anaerobic co-digestion of raw cheese whey with coffee pulp residues. *Energies* 14, 1–11. <https://doi.org/10.3390/en14123611>.

Jaimes - Estévez, J., Vera, E., Jaramillo, J. G., Rodríguez, P., Martí - Herrero, J., Escalante y H. Castro, L. (2022). From laboratory to farm-scale psychrophilic



anaerobic co-digestion of cheese whey and cattle manure, *Bioresource Technology Reports*, Volume 19, 101168, ISSN 2589-014X, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101168>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X22002250>)

Jordán Y. T. (2021). Generación de biogás y biol con mezcla del suero salado de queserías y estiércol de cuy en Canta – Perú. Universidad Científica del Sur. Repositorio institucional.

Juliano, P., Castells, M. L., González, M., Mattos, C., Juliano, P., Mellinger, C., Sepulveda, J. U., Jorcín, S., Krolow, A. C., Di Risio, J., & López, T. (2017). *Valorización del lactosuero* (1a ed.).  
<https://www.inti.gob.ar/lacteos/pdf/lactosuero.pdf>

Liakos, D., Altiparmaki, G., Kalampokidis, A., Lekkas, D. F., Vakalis, S. (2023). The role of hydrochar on the production of biogas and volatile fatty acids during anaerobic digestion of cheese whey wastewater. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 35, 101153, ISSN 2352-5541, <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101153>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554123001870>)

Madrigal, G., Huaraya, M., Sancho, T., Mendieta, O., Jaimes - Estévez, J. (2022). Biochar from bovine manure as a sustainable additive to improve the anaerobic digestion of cheese whey. *Bioresource Technology Reports*, Volume 20, 101258, ISSN 2589-014X, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101258>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X22003152>)

Masse, I., Croteau, F., Patni, K. y Masse, L. 2000. Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 100C at 150C. *Agriculture and Agri – foods Canada, Dairy and Swine Research and Development Centre. Canadian Biosystems Engineering. Quebec Canada. 45: p. 6.1- 6.6.*

Midagri. (mayo de 2021). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera y Avícola 2020. (C. León Hinojosa, Ed.) Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - Midagri.

Najafpour G.D., Komeili M., Tajallipour M. y Asadi M. (2010). Bioconversion of cheese whey to methane in an upflow anaerobic packed bed bioreactor. Chem. Biochem. Eng. Q. 24 (1), 111-117.

<https://doi.org/10.15255/CABEQ.2014.266>

Nazaitulshila R., Idris A., Harun R., y Wan Azlina W. (2015). The influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of fat, oil, and grease in batch anaerobic assays. Energ. Sources Part A. 37 (6), 590-597.

<https://doi.org/10.1080/15567036.2014.907374>

Neshat, S. A., Mohammadi, M., Najafpour, G. D. y Lahijani, P. (2017). Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 79, 2017, Pages 308-322, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.137>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307694>)

Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial. (2017). *Biogás en el sector lechero en Chile* (1st ed.). <http://www.minenergia.cl/biogaslechero/>

Poloni, L. P., Paulinetti, A. P., Djalma, A., Ferraz, A. D. N., Albanez, R., Ratusznei, S. M., Etchebehere, C., Lovato, G. y Domingues, J. A. (2023). Two-stage thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Process optimization, comparison with single-stage, and full-scale estimation. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, Volume 183, 109260, ISSN 0255-2701, <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109260>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270122004639>)

Polizzi C., Alatríste F. y Munz G. (2018). The role of organic load and ammonia inhibition in anaerobic digestion of tannery fleshing. *Water Resour. Ind.* 19, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.12.001>.

Prazeres, A.R., Carvalho, F., Rivas, J., 2012. Cheese whey management: a review. *J. Environ. Manage.* 110, 48–68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479712002769>

Rajlakshmi, Jadhav, D. A., Dutta, S. Sherpa, K. C. Jayaswal, K. Saravanabhupathy, S., Mohanty, K. T., Banerjee, R., Kumar, J., Rajak, R. C. (2023). Chapter 7 - Co-digestion processes of waste: Status and perspective. Editor(s): Chaudhery Mustansar Hussain, Anamika Kushwaha, Ram Naresh Bharagava, Lalit Goswami, In *Advanced Zero Waste Tools. Bio-Based Materials and Waste for Energy Generation and Resource Management*, Elsevier, Volume 5, 2023, Pages 207-241, ISBN 9780323911498. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91149-8.00010-7>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323911498000107>)

Ramos J.L., Vargas C.L., Mata J., y Camacho Á. (2019). Evaluation of poultry manure and goat cheese whey anaerobic co-digestion. *Span. J. Agric. Res.* 17 (2), 1-14. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019172-14577>

Redagrícola. (2017). *Lo básico para entender el biogás*. <https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>

Rico, C. Muñoz, N. y Rico, J. L. (2015). High-load anaerobic co-digestion of cheese whey and liquid fraction of dairy manure in a one-stage UASB process: Limits in co-substrates ratio and organic loading rate. *Chemical Engineering Journal*, Volume 262, Pages 794-802, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.050>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714013825>)

Rico C., Muñoz N., Rico J. L. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank

reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate, *Bioresource Technology*, Volume 189, Pages 327-333, ISSN 0960-8524.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.032>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415005155>)

Román V. (2021). Producción de metano de la excreta animal para el aprovechamiento energético en la región altoandina. Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio institucional.

Rosales L.M., Razo E., Ordóñez L.G., Alatraste F. y de León A. (2010). Hydrogen production by *Escherichia coli*  $\Delta hycA \Delta lacI$  using cheese whey as substrate. *Int. J. Hydrogen Energy* 35 (2), 491-499.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.10.097>

Saddoud, A., Hassaïri, I., Sayadi, S., 2007. Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresour. Technol.* 98 (11), 2102–2108.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.013>

Saico, L. (2003). Determinación de sustratos óptimos para la producción de biogás a partir de estiércol de vacuno. Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú.

Scherer P. y Neumann L. (2013). “Methano-compost”, a booster and restoring agent for thermophilic anaerobic digestion of energy crops. *Biomass Bioenergy* 56, 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.021>

Suárez, P. (2011). Población de estudio y muestra. Obtenido de [http://udocente.sespa.princast.es/documentos/Metodologia\\_Investigacion/Presentaciones/4\\_%20poblacion&muestra.pdf](http://udocente.sespa.princast.es/documentos/Metodologia_Investigacion/Presentaciones/4_%20poblacion&muestra.pdf)

Spalatelu, C. (2012) Biotechnological valorisation of whey. *Innovative Romanian Food Biotechnology* 10 1.

<http://bioaliment.ugal.ro/revista/10/paper%2010%201.pdf>

Tapia, V. (2016). Instalación y uso de biogás. Ganadería Puneña, generando energía limpia “biogás” para calefacción y cocina familiar (1era ed.). Balcari Editores SAC.

<http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2016/11/Manual-de-Biodigestores-Final.pdf>

Zambrano, M. C. (2016). Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2711>

Zambrano, M., & Meza, V. (2020). Estabilización de suero de quesería mediante digestión anaeróbica y determinación de su rendimiento en biogás. *Agroindustrial Science*, 2(1), 79–88.

Zieliński, M., Kisiełewska, M., Dębowski, M., Rusanowska, P., Nowicka, A., Dudek, M. (2023). Biogas Production and Metagenomic Analysis in a New Hybrid Anaerobic Labyrinth-Flow Bioreactor Treating Dairy Wastewater. *Applied Sciences*. 13. 5197. 10.3390/app13085197.

<https://doi.org/10.3390/app13085197>

[https://www.researchgate.net/publication/370195929\\_Biogas\\_Production\\_and\\_Metagenomic\\_Analysis\\_in\\_a\\_New\\_Hybrid\\_Anaerobic\\_Labyrinth-Flow\\_Bioreactor\\_Treating\\_Dairy\\_Wastewater](https://www.researchgate.net/publication/370195929_Biogas_Production_and_Metagenomic_Analysis_in_a_New_Hybrid_Anaerobic_Labyrinth-Flow_Bioreactor_Treating_Dairy_Wastewater)

## ANEXOS

### Matriz de consistencia

<b>Problema general</b>	¿Cómo influye el control de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023?
<b>Hipótesis General</b>	Un adecuado control de los parámetros mejora el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.
<b>Objetivo General</b>	Evaluar cómo influye el control de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Específico</b> ¿Cómo se puede controlar los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023?	<b>Específico</b> Realizar el control de los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023	<b>Específico</b> Se puede controlar algunos parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023	<b>Independiente</b> Parámetros en el proceso de codigestión anaerobia	Para aprovechar al máximo la digestión anaeróbica debemos conocer sobre los parámetros fundamentales del proceso como pH, temperatura, relación C/N, OLR, TRH, alcalinidad y concentración de AGV; estos parámetros influyen en el rendimiento de la digestión anaeróbica. Controlar estos parámetros es importante porque cualquier desviación de sus niveles óptimos puede llegar a detener todo el proceso (Neshat et al. 2017).	Para evaluar como influyen las variaciones en los parámetros del proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina se observarán los cambios en el pH, temperatura, volumen de gas producido.	Composición de los insumos (suero de quesería y estiércol bovino)	Relación carbono / nitrógeno	Proporción
				Se determinará la relación C/N del estiércol, del suero de quesería y de la combinación de ambos. Se tomará registro de la temperatura para establecer rangos de variación durante el día. Se tomará registro de la variación del pH durante el proceso de digestión anaerobia. Se tomará registro del tiempo de retención hidráulica necesario para la producción de gas. Se tomará registro de volumen de gas producido.	Materia seca y grado de mezclado	Porcentaje		
				Factores físico químicos	pH	1 - 14		
				Clima	Temperatura	°C		
				Factor mecánico	Agitación	Frecuencia		
				Tiempo	Tiempo de retención hidráulica	Horas, días		

<p><b>Específico</b> ¿Cómo varía la producción de biogás por efecto de las variaciones de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023?</p>	<p><b>Específico</b> Determinar la cantidad de biogás producido por efecto de las variaciones de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.</p>	<p><b>Específico</b> La producción de biogás se incrementa si hay un adecuado control y manejo de los parámetros en el proceso de codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina en la generación de biogás, Cusco – 2023.</p>	<p><b>Dependiente</b> Producción de biogás</p>	<p>El biogás constituye una fuente de energía renovable que promueve la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero, por ende, promueve la disminución del consumo de combustibles fósiles (Saleh et al. 2012).</p> <p>Es posible incrementar la producción de biogás y el rendimiento de metano si se optimiza algunas de las variables involucradas en el proceso de digestión anaeróbica del suero lácteo (Cisneros et al. 2021).</p>	<p>Mediante biodigestores de tipo Bach o en lote se realizará la codigestión anaerobia de suero lácteo y excreta bovina para la producción de biogás.</p>	<p>Cantidad de biogás</p> <hr/> <p>Composición del biogás</p>	<p>Volumen de biogás</p> <hr/> <p>N<sub>2</sub> CH<sub>4</sub> CO<sub>2</sub></p>	<p>Litros (l)</p> <hr/> <p>% % %</p>
--	---	--	--	--	---	---	---	--

# Matriz evaluación por juicio de expertos, formato UCV



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**I.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline  
**I.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de Universidad Cesar Vallejo  
**I.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**I.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de las mezclas de suero lácteo y estércol bovino  
**I.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ceama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%
-----

Lima, 24 de diciembre de 2023

.....  
Firma y sello



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de temperatura  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- |   |  |
|---|--|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline          |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo    |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                         |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de potencial de hidrogeniones (pH) |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                     |

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X	

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
**90%**

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- |   |   |
|---|---|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline               |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo         |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                              |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                          |

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X	

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de producción de biogás  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- |   |   |
|---|---|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline       |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                      |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de composición del biogás       |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                  |

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
**90%**

Lima, 24 de diciembre de 2023

  
 .....  
 Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: Mg. Alcides Garzon Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de Universidad Cesar Vallejo  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Recursos naturales  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Control de las mezclas de suero lácteo y estiércol bovino  
 1.5. Autor (A) del instrumento: Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	IN ACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Alcides Garzon Flores  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de temperatura  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Coama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Alcides Garzon Flores  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de potencial de hidrogeniones (pH)  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
**90%**

Lima, 24 de diciembre de 2023



 .....  
 Firma y sello



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- |   |   |
|---|---|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Mg. Alcides Garzon Flores                       |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo         |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                              |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                          |

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Alcides Garzon Flores  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de producción de biogás  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ceama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	IN ACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Mg. Alcides Garzon Flores  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de composición del biogás  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%



Lima, 24 de diciembre de 2023

.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfan  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de las mezclas de suero lácteo y estéril bovino  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ceama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- |   |   |
|---|---|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfan      |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                      |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de temperatura                  |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                  |

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X	

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- |  |  |
|--|--|
| <b>1.1. Apellidos y Nombres:</b>                         | Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfán         |
| <b>1.2. Cargo e institución donde labora:</b>            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo    |
| <b>1.3. Especialidad o línea de investigación:</b>       | Recursos naturales                         |
| <b>1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:</b> | Control de potencial de hidrogeniones (pH) |
| <b>1.5. Autor (A) del instrumento:</b>                   | Julio César Tito Ccama                     |

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	IN ACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

**90%**

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfan  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- |   |   |
|---|---|
| 1.1. Apellidos y Nombres:                         | Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfán      |
| 1.2. Cargo e institución donde labora:            | Docente de la Universidad Cesar Vallejo |
| 1.3. Especialidad o línea de investigación:       | Recursos naturales                      |
| 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: | Control de producción de biogás         |
| 1.5. Autor (A) del instrumento:                   | Julio César Tito Ccama                  |

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%
-----

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfan  
**1.2. Cargo e institución donde labora:** Docente de la Universidad Cesar Vallejo  
**1.3. Especialidad o línea de investigación:** Recursos naturales  
**1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Control de composición del biogás  
**1.5. Autor (A) del instrumento:** Julio César Tito Ccama

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

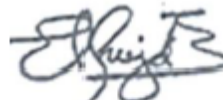
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 24 de diciembre de 2023



.....  
Firma y sello

## Pruebas de laboratorio



### INFORME DE ENSAYOS N° 6809- 2023 PÁGINA 1 DE 2

SOLICITANTE	: JULIO CESAR TTITO CGAMA
DIRECCIÓN	: ESPINAR - CUSCO
PRODUCTO DECLARADO	: ESTIÉRCOL DE VACA
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Estiércol colo cafe oscuro.
CODIFICACIÓN / MARCA	: No especificada.
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: 01/11/2023 18:00 Muestra: Estiercol de ganado vacuno - Edad: 4 años - Raza: Brown Swiss - Procedencia: Dsitríto Ocoruro, Provincia Espinar, Departamento Cusco
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 1190 g aprox. para análisis FQ.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En bolsa PET transparente cerrada, dentro de envase vidrio cerrado etiquetado. A una temperatura de 22.3°C
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 2052-2023
FECHA DE RECEPCIÓN	: 02/11/2023

#### CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

## RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	ESTIÉRCOL DE VACA No especificada.	UNIDADES
FQ	Nitrógeno	0.28	%
FQ	Carbono Orgánico	8.27	%
FQ	Sólidos Totales	14.54	%

## ABREVIATURAS:

% : Expresado en porcentaje

## MÉTODOS UTILIZADOS :

Nitrógeno : BHIOS-FQ-015. Determinación de Nitrógeno Total en Suelos. Versión 01-2008.

Carbono Orgánico : Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego. - Ministerio de Agricultura - INIA. Lima Perú 2017 - (P- Met 4.5.2)

Sólidos Totales : Environmental Protection Agency. Method 6020A. Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids. EPA-821-R-01-015. January 2001

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 02/11/2023 al 09/11/2023

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 13/11/2023



**Bigo Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe



<b>SOLICITANTE</b>	: JULIO CESAR TTITO CCAMA
<b>DIRECCIÓN</b>	: ESPINAR - CUSCO
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: SUERO DE QUESO
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido color amarillento.
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: No especificada.
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 01/11/2023 07:30 Muestra: Suero de quesería sin sal - Procedencia: Distrito Espinar, Provincia Espinar, Departamento Cusco.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 1000 mL aprox. Compuesta por 02 envases PET de 500 mL c/u para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases PET transparentes cerrados etiquetados. A una temperatura de 22.3°C
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 2052-2023
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 02/11/2023

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

INFORME DE ENSAYOS N° 6810- 2023  
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	SUERO DE QUESO No especificada.	UNIDADES
FQ	Sólidos Totales	6.69	%
FQ	Carbono Orgánico	3.60	%
FQ	Nitrógeno	0.16	%

ABREVIATURAS:

% : Expresado en porcentaje

MÉTODOS UTILIZADOS :

Sólidos Totales : AOAC Official Method 925.23 Chapter 33 Subchapter 2.33.2.09 Solids (Total) in Milk, 21st Ed. Rev. Online 2019.

Carbono Orgánico : Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego. - Ministerio de Agricultura - INIA, Lima Perú 2017 - (P- Met 4.5.2)

Nitrógeno : BHIOS-FQ-106. Determinación de Nitrógeno Total en Productos. Versión 01-2020.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 02/11/2023 al 09/11/2023

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 13/11/2023



**Bigo. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe



## Evidencia Fotográfica



Foto N° 01: Materiales para construcción de invernadero



Foto N° 02: Construcción del armazón del invernadero



Foto N° 03: Instalación de la cobertura de agrofilm del invernadero



Foto N° 04: Ubicación de los 09 barriles que se usaron como biodigestores





Foto N° 05: Materiales para elaboración de biodigestores



Foto N° 06: Biodigestor en proceso de elaboración



Foto N° 07: Biodigestor con gasómetro





Foto N° 08: Detalle de tapa y paletas de agitación de los biodigestores



Foto N° 09: Estiércol fresco de ganado bovino



Foto N° 10: Suero dulce de quesería



Foto N° 11: Mezcla de suero lácteo y estiércol fresco de ganado bovino



Foto N° 12: Inicio del proceso de biodigestión



Foto N° 13: Materiales para medición del pH y amortiguación con cal nieve

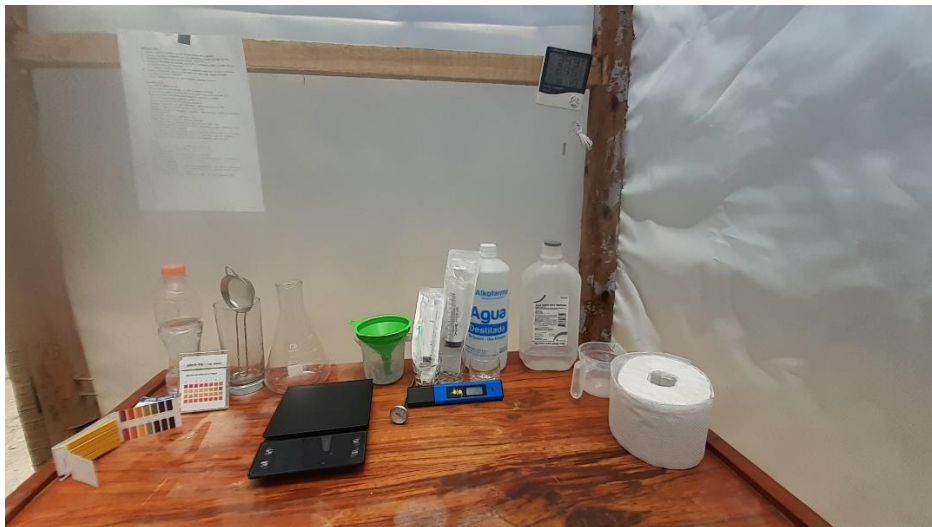


Foto N° 14: Materiales y equipos para control de temperatura y pH



Foto N° 15: Control diario de temperatura y pH





Foto N° 16: Termómetro digital medioambiental



Foto N° 17: Termómetro digital medioambiental



Foto N° 18: Termómetro de mercurio medioambiental



Foto N° 19: Termómetro tipo reloj para medición de líquidos



Foto N° 20: Producción de biogás



Foto N° 21: Excesiva acumulación de biogás en el gasómetro que causó reflujó de los biodigestores por el espacio del agitador



Foto N° 22: Gasómetros pequeños (cámaras de carretilla) para almacenamiento, traslado y evaluación del biogás.



Foto N° 23: Prueba de incineración en ambiente oscuro



Foto N° 24: Prueba de incineración en ambiente con luz



Foto N° 25: Medición de volumen de biogás



Foto N° 26: Medición para composición de biogás

## Análisis Estadístico

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7054.00222	2	3527.00111	146.9379716	0.0000080099328	5.14325285
Dentro de los grupos	144.02	6	24.0033333			
Total	7198.02222	8				

### MÉTODO DE TUKEY

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k) \sqrt{CM_E / n_i}$$

k=	3
N-k=	6
CM <sub>E</sub> =	24.0
n <sub>i</sub> =	3
q <sub>α</sub> (k,N-k)=	4.34

T<sub>α</sub>= **12.28**

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
μ <sub>A</sub> - μ <sub>B</sub>	42.63	Significativa
μ <sub>A</sub> - μ <sub>C</sub>	25.20	Significativa
μ <sub>B</sub> - μ <sub>C</sub>	67.83	Significativa

A≠B≠C