

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Estimación entre biomasa y biogás de la *Opuntia ficus indica* (penca de la tuna) en la Joya, Arequipa - 2021

Diane Solange Tito Rios

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se fueron presentando en el camino.

De manera especial a mi asesor de tesis Steve Camargo quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación. Al ingeniero Godofredo Peña por sus consejos, enseñanzas y apoyo.

Y por supuesto a la Universidad Continental y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guía en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres Gregorio y Fanny quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy uno de mis más grandes sueños, gracias por inculcar en mí el ejemplo de perseverancia, esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermana Yenka por el cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

A mi querida sobrina Fernanda, a mi hermano Jimmy Tito que, aunque no esté físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien y a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES	ix
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1.Problema General.....	16
1.1.2.Problemas Específicos	16
1.2. Objetivos	16
1.2.1.Objetivo general	16
1.2.2.Objetivos específicos	16
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.4. Operacionalización de variables	20
1.4.1.Variable Independiente	21
1.4.2.Variable dependiente.....	21
1.5. Hipótesis	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1.Antecedentes Internacionales.....	22
2.1.2.Antecedentes Nacionales	25
2.2. Bases teóricas	27
2.2.1.Biogás	27
2.2.2.Tuna	35
2.2.3.Biogás	38
2.2.4.Biodigestión	38
2.2.5.Microorganismos en la producción de biogás.....	41
2.2.6.Evaluación mundial de la tecnología del biogás	42
2.2.7.Marco legal	44

2.2.8. Características de la combustión de biogás.....	45
2.2.9. Sistemas de producción de biogás	45
2.2.10. Ventajas y desventajas de los sistemas de biogás.....	45
2.3. Definición de términos básicos.....	46
CAPÍTULO III	48
METODOLOGÍA.....	48
3.1. Método y alcance de la investigación	48
3.2. Diseño de la investigación	48
3.2.1. Determinación de la relación carbono nitrógeno de la tuna	49
3.2.2. Determinación de la cantidad de biogás producido por unidad de masa de penca de tuna.....	53
3.2.3. Determinación de la calidad de biogás producido a partir de las pencas de tuna provenientes del distrito de la Joya Arequipa	53
3.3. Población y muestra	54
3.3.1. Universo	54
3.3.2. Población.....	54
3.3.3. Muestra	54
3.3.4. Muestreo	55
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.4.1. Fuentes de información.....	56
3.4.2. Técnicas e instrumentos	56
3.4.3. Instrumentos de investigación.....	56
CAPÍTULO IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Presentación de resultados	57
4.1.1. Determinación de la temperatura óptima en la producción de biogás para maximizar la relación carbono nitrógeno de la biomasa de tuna.	57
Nota: <i>Elaboración propia. Medida en ml.</i>	58
4.1.2. Determinación del volumen de biogás producido por unidad de biomas de penca de tuna.....	59
Nota: <i>Elaboración propia. Medida en ml.</i>	60
4.1.3. Determinación de la calidad de biogás producido.	61
Nota: <i>Elaboración propia. Medida en porcentaje volumen / volumen.</i>	62
4.2. Prueba de hipótesis	63

4.2.1. Estadística para la determinación de la temperatura óptima en la producción de biogás para maximizar la relación carbono nitrógeno de la biomasa de tuna.....	63
Nota: <i>Elaboración propia</i>	64
4.2.2. Cálculo para la determinación de volumen de producción de biogás por unidad de masa de tuna.	65
4.2.3. Estadística para la determinación de la calidad de biogás obtenido.	66
4.3. Discusión de resultados.....	66
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables de investigación	20
Tabla 2. Características del biogás	30
Tabla 3. Propiedades y composición estándar de biogás.....	30
Tabla 4. Características del metano	31
Tabla 5. Efectos de los componentes del biogás en sus propiedades.	31
Tabla 6. Principales componentes de las plantas con nitrógeno N y Azufre S	35
Tabla 7. Composición química proximal de cladodios de nopal amarillo expresado en base húmeda	47
Tabla 8. Volumen diario producido de biogás en ml.	57
Tabla 9. Volumen acumulado producido de biogás en ml.	59
Tabla 10. Porcentaje de metano, dióxido de carbono V/V y ppm de ácido sulfúrico. ..	61
Tabla 11. Estadística de grupo para tratamiento 1 y 2.....	63
Tabla 12. Pruebas de muestras independientes para el tratamiento 1 y 2.....	63
Tabla 13. Estadísticas de grupo para el tratamiento 2 y 3.	64
Tabla 14. Estadísticas de grupo para el tratamiento 1 y 3.	64
Tabla 15. Prueba de muestras independientes para el tratamiento 1 y 3.	64
Tabla 16. Caracterización físico-química inicial del ensayo de biodigestibilidad de la tuna.....	67
Tabla 17. Determinación de la toma de muestra completamente al azar	74
Tabla 18. Relación carbono – nitrógeno para la tuna procedente de la Joya.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Correlación entre carbono y metano.	33
Figura 2. Digestor automático	50
Figura 3 Equipo de destilación.....	51
Figura 4. Producción diaria de biogás para los tres tratamientos.....	58
Figura 5. Producción acumulada de biogás para los tres tratamientos.....	60
Figura 6. Contenido de metano para los tres tratamientos	61
Figura 7. Contenido de dióxido de carbono para los tres tratamientos.	62
Figura 8. Contenido de ácido sulfúrico para los tres tratamientos	62
Figura 9. Comparación de medias en la producción diaria de biogás para los tres tratamientos.....	65
Figura 10. Comparación de medias de contenido de metano para los tres tratamientos	66
Figura 11. Registro de tratamientos.....	75
Figura 12. Registro de parámetros de experimentación por tratamiento.....	76
Figura 13. Ficha de registro web de toma de datos	77
Figura 14. Flujo del diseño experimental	78
Figura 15. Manual de uso de "Portable Gas Detector SKY2000".....	79
Figura 16. Certificado de calibración del "Portable Gas Detector SKY2000".....	81
Figura 17. Análisis de Biogás.....	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	35
Ecuación 2	35
Ecuación 3	35
Ecuación 4	53
Ecuación 5	54
Ecuación 6	56
Ecuación 7	56

RESUMEN

Se estimó la biomasa de la tuna cuyo nombre científico es *Opuntia ficus indica* (Nopal o Tuna.) para la producción y obtención de biogás en el distrito de la Joya Arequipa, lugar donde se mantiene un cultivo extensivo de cochinilla, por lo cual se realiza enormes plantaciones de tuna, las mismas que son desechadas cumplidas las etapas de crianza del insecto.

Se determinó la conveniencia o no de utilizar esta biomasa de desecho para la producción de biogás para lo cual se estableció como objetivo principal la estimación de la misma en este proceso cumpliendo con tres objetivos específicos los cuales fueron el de determinar la temperatura óptima para el proceso de acondicionamiento de los residuos de tuna con el fin de maximizar los efectos de la relación carbono-nitrógeno de la biomasa, como segundo objetivo se determinó la cantidad de biogás que se podía lograr a partir de una cantidad conocida de biomasa de penca de tuna, por último se evaluó la calidad del biogás formado para lo cual se determinará la proporción de metano frente a CO₂ en la muestra total de biogás.

Finalmente, se realiza una comparación con antecedentes y se determina el grado de utilidad de estos desechos para la producción de biogás.

Palabra clave: *biogás, metano, tuna, valor.*

ABSTRACT

The biomass of the prickly pear whose scientific name is *Opuntia ficus indica* (Nopal or Tuna.) was estimated for the production and obtaining of biogas in the district of La Joya Arequipa, a place where an extensive cochineal cultivation is maintained, for which huge prickly pear plantations, the same ones that are discarded once the insect's breeding stages have been completed.

The convenience or not of using this waste biomass for the production of biogas was determined, for which the estimation of it in this process was established as the main objective, fulfilling three specific objectives, which were to determine the optimum temperature for the process. of conditioning of prickly pear residues in order to maximize the effects of the biomass carbon-nitrogen ratio, as a second objective the amount of biogas that could be achieved from a known amount of prickly pear biomass was determined; and finally, the quality of the biogas formed was evaluated, for which the proportion of methane versus CO₂ in the total biogas sample was determined.

Finally, a comparison with background is made and the degree of usefulness of these wastes for the production of biogas is determined.

Key word: *biogas, metano, tuna, value.*

INTRODUCCIÓN

El mundo enfrenta un cambio progresivo en el uso de combustibles, hasta la actualidad los combustibles fósiles han permitido el desarrollo de la humanidad, pero con la consecuente problemática medio ambiental nos ha dejado su uso generalizado; sin embargo, el ser humano en su insaciable hambre de conocimiento ha encontrado combustibles ecológicos que pueden hacer frente a la creciente demanda de energía del planeta, Arequipa no puede quedar retrasada en este intento, por lo que explorar sus posibilidades en la producción de energías limpias es un deber de todos los profesionales capacitados en estos temas.

Los esfuerzos para encontrar la fuente de combustible perfecta se encuentran centrados en la investigación en algas y plantas de producción de aceites que pudieran ser utilizados para la obtención de biodiesel con la desventaja en ambos casos de la competencia con las especies vegetales de uso alimenticio por el recurso agua y de área de siembra; ahora, la ciencia abre los ojos ante otros recursos que no presentarían estos dos inconvenientes como son las cactáceas (Tuna) y que generarían la suficiente biomasa para producir biocombustibles.

En este sentido, el presente trabajo pretende aportar un avance en este esfuerzo global, nacional y regional, por lo cual identificamos la agricultura local dedicada al cultivo de Tuna para la explotación de cochinilla como el insumo prometedor para ser utilizada en la generación de biocombustibles como el metano, obteniendo como desechos, abonos que pudieran ser bien utilizados en la agricultura además de reducir el impacto a la atmósfera que deja la industria de la cochinilla como es la liberación de CO_2 por la quema de las pencas después del periodo agrícola.

En los últimos años se ha roto el mito sobre las fuentes orgánicas para la generación de biogás, antes solo se tenía el enfoque en los desechos orgánicos de los animales como única materia prima, sin embargo ahora se sabe que los vegetales son también una fuente importante como materia prima, pero no todos los vegetales, si no aquellos de alta producción de carbohidratos, dado que la celulosa no es de fácil degradación al representar una de las moléculas más abundantes en los organismos vegetales.

Países como México que presentan grandes extensiones de cultivo de tuna, son los primeros en implementar esta tecnología, sin embargo, el conocimiento de la técnica y método son privados y desarrollar un protocolo para la obtención del metano de la manera óptima, eficiente y eficaz se convierte en un tema tentador de investigación.

Otros países como Australia que presentan grandes extensiones de terrenos semi áridos también han volcado su interés en esta nueva posibilidad dado que las cactáceas y puntualmente hablando del género *Opuntia* tendrían excelente posibilidad de desarrollo, significando una enorme posibilidad bio energética.

El Perú, presenta un área significativa que no posee todas las características para el cultivo tradicional de alimentos y que bien podrían utilizarse para el cultivo de *Opuntia* con miras a ser utilizados en la generación de bio combustible. La determinación de la capacidad instalada para ser empleada en el cultivo de la tuna, dependería de un estudio detallado referido a las condiciones climáticas y geoespaciales es decir a la determinación de áreas que por su ubicación cumplan con mínimas condiciones para desarrollar un cultivo con una determinada autonomía en términos hídricos.

La fisiología de las cactáceas que han evolucionado para poder desarrollarse en climas extremos y que presentan una velocidad nada despreciable en la generación de biomasa es el factor determinante que plantea a esta especie vegetal como una alternativa bio energética y que seguramente podría potenciarse con la investigación en la mejora genética, así como de la propagación masiva de su cultivo impulsando el desarrollo de la tecnología en este aspecto.

En el **Capítulo I:** se presenta el planteamiento y la formulación del problema desglosándolo en un problema general y tres problemas específicos, así mismo se presentan los objetivos, divididos en un objetivo general y tres objetivos específicos en concordancia con los problemas planteados. También se presenta de manera detallada la justificación e importancia de este proyecto de investigación, finalmente se presentan las variables independientes y dependientes en un cuadro de operacionalización de variables lo que nos permite finalizar con la formulación de la hipótesis de este proyecto de investigación.

En el **Capítulo II:** presentamos el marco teórico sobre el que se desenvuelve el proyecto, en la parte inicial, se presenta los antecedentes nacionales e internacionales en relación al tema de investigación para luego desarrollar los conceptos claves para la comprensión de lo desarrollado en la tesis, incluyendo los aspectos legales sobre los que se semienta la visión futurista de la importancia de las investigaciones en energías renovables.

En el **Capítulo III:** presentamos la metodología, dónde se plantea el diseño experimental para la conclusión de los tres objetivos secundarios planteados en el presente proyecto, también se expone algunos aspectos teóricos de la naturaleza del presente proyecto

enmarcándolo en un tipo de investigación con sus características metodológicas instrumentos y técnicas.

En el **Capítulo IV**: se desarrolla el análisis estadístico matemático de los resultados obtenidos en la investigación, así como la presentación de los mismos en cuadros, tablas y gráficas que pueden ser de fácil interpretación por la comunidad científica que tenga una mirada en el desarrollo de fuentes de combustible alternativa como el biol, biodiesel, etanol entre otros. Se finaliza este capítulo con la presentación de las conclusiones y recomendaciones respectivas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

A nivel mundial es conocida la problemática largamente generada por el uso de combustibles fósiles, que tiene gran impacto sobre la naturaleza, desde el momento de su exploración, extracción, procesamiento, hasta su propio uso el cual impacta de manera negativa en el medio ambiente. Los esfuerzos por la búsqueda de la generación de biocombustibles, como el etanol y biodiesel, se centran en la previsión de la escasez a futuro de los recursos fósiles, refiriéndonos al petróleo y derivados; tratando de encontrar una fuente renovable que pueda suplir a los recursos no renovables provenientes de los hidrocarburos fósiles, es importante señalar que el impacto en la cadena productiva de estos combustibles eco amigables desde ya significaría enormemente beneficioso para el planeta.

El Perú, no es ajeno a la tendencia mundial del cambio de matriz energético, donde el uso de energías renovables toma cada vez mayor importancia, este a su vez, es el principal motor que impulsa esta tendencia. Primariamente es el de reducir el impacto sobre el medio ambiente; en la actualidad el factor económico tiene relevancia ya que se encuentra en los biocombustibles una fuente de energía más económica, así como, la oportunidad de nuevos productos de comercio.

El distrito de la Joya se ha convertido en el principal productor de la cochinilla a nivel mundial por lo que casi el 70% de sus terrenos cultivables son utilizados para la siembra de tuna, teniendo una importante producción de desechos constituidos por los cladodios de la tuna conocidos estos como pencas, normalmente estos son desecados e incinerados para poder ser utilizados como abono para la siguiente temporada de cosecha, esta práctica libera una cantidad importante de CO₂ al medio ambiente, desperdiciando una importante cantidad de energía que pudiera ser utilizado en forma de biocombustible limpio.

En tal sentido, nos enfrentamos a dos problemas importantes en esta investigación: el primero, demostrar que el uso de cactáceas específicamente el uso de la tuna en la generación de biocombustibles, se convierte en una mejor propuesta que el uso de la caña de azúcar para la obtención de etileno, que el girasol para la obtención de bio Diesel o que las micro algas. Dado que todos estos recursos mencionados necesitan grandes extensiones de suelo fértil o presentan una gran demanda de uso de agua, que se da en desmedro de la alimentación humana; el segundo, proponer el uso de

los desechos del cultivo de la cochinilla que se encuentra representado en la biomasa de la penca de tuna y de esta manera reducir el impacto que se ocasiona en el medio ambiente por la quema de esta biomasa bajo las costumbres tradicionales de los agricultores dedicados a esta actividad.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la biomasa de desecho utilizada en esta investigación para el cultivo de la cochinilla representa un desecho alimenticio por cuanto este insecto para completar toda su fase de desarrollo se alimentó de esta planta, esencialmente de sus fluidos, siendo este un organismo parásito y por lo que no hablamos de una penca de tuna en las mejores condiciones biológicas, sino de una materia orgánica mermada en sus capacidades.

1.1.1. Problema General

¿Cómo se estimará la producción de biogás a partir de los cladodios de desecho de tuna (*Opuntia ficus indica* (L.)) cultivados en el distrito de la Joya, Arequipa 2019?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se determinará la temperatura óptima para maximizar los efectos de la relación carbono: nitrógeno en los residuos de tuna (cladodios) para la producción de biogás y definir el proceso de acondicionamiento del proceso?
- ¿Cómo se determinará la cantidad de gas por unidad de biomasa en el proceso de bio digestión de los residuos de tuna (cladodios)?
- ¿Cómo se determinará la calidad del biogás obtenido a partir de los cladodios de desecho de tuna?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estimar la biomasa de la tuna en la producción de biogás de la especie *Opuntia ficus indica* (penca de la tuna) en La Joya, Arequipa – 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la temperatura óptima en el proceso de acondicionamiento de los residuos de tuna (cladodios) para la obtención de biogás con la finalidad de maximizar los efectos de la relación Carbono Nitrógeno.
- Determinar la cantidad de gas producido por unidad de biomasa en la biodigestión de los residuos de tuna (cladodios).

- Evaluar la calidad de biogás obtenido a partir de los cladodios de desecho de tuna para la obtención de biogás en base a la proporción de metano y CO₂.
Presentes en los resultantes.

1.3. Justificación e importancia

La demanda de combustibles a nivel mundial, nacional y regional se encuentran en constante aumento debido al crecimiento poblacional, por lo que encontrar nuevas formas de generar biocombustibles a partir de fuentes de desecho se convierte en una alternativa viable y necesaria para eliminar el impacto de uso de los combustibles fósiles. En el mundo, la producción de biocombustible como fuente energética se ha convertido gracias a la investigación en una industria sostenible y sustentable, por lo que en economía tiene un impacto positivo para los países, por ello naciones como Brasil y Estados Unidos han adoptado la política económica de fomentar la producción masiva de estos productos, así como la investigación avanzada en estos temas.

La legislación peruana, empieza a fomentar la producción de los combustibles alternativos de origen orgánico de una manera incipiente, abriendo las puertas a empresas privadas que puedan ver en esta industria una posibilidad económica de impacto positivo para el medio ambiente.

En otros países, la tecnología y los avances en este sentido se encuentran en manos de los privados, por esto no existe una difusión, por lo tanto, la exposición de estos trabajos es de remarcada importancia ya que este conocimiento debe pertenecer al mundo entero para buscar una participación mayoritaria en el mismo.

En México es justamente la empresa privada la impulsadora de los avances de utilización de este tipo de cactáceas para la producción de biocombustibles, sin embargo, en el mundo los europeos son quienes lideran esta investigación, colocando sus miradas en una especie de origen americano como lo es Opuntia y teniendo ya varios intentos de introducción a su flora.

Al Perú le corresponde ahora no quedarse rezagado en estos esfuerzos mundiales y que, mejor utilizando una especie de gran abundancia en nuestro territorio, además de que en nuestro país poseemos una gran variedad de suelos agrícolas y no agrícolas que pudieran ser utilizados con gran ventaja por esta especie vegetal sin impactar en otras especies de consumo directo para el ser humano.

Arequipa, es productor nacional y el mayor exportador de cochinilla a escala global. En el 2016, el Perú logró exportar 4 mil toneladas equivalentes a 117 millones 900

mil dólares correspondiendo al 65% de esta producción a la generada en las pampas de La Joya (1); lo cual denota el potencial de esta localidad para la generación de materia prima para el uso en una refinería para la producción de biocombustible, lo cual podría eventualmente incentivar el aumento de la producción de la cochinilla, así como generar ingresos adicionales a los productores de este insecto.

César Francisco Torres, gerente general de Activ-Internacional y socio de Adex, precisó que, en Arequipa se utilizan cinco mil hectáreas para la producción de cochinilla. El negocio reúne a alrededor de 1000 agricultores en La Joya y otros 200 en provincias como Condesuyo y Castilla (1); estos residuos son generalmente secados e incinerados liberando cantidades importantes de CO₂ al ambiente, con la instalación de una bio-refinería se disminuiría drásticamente estas emisiones teniendo además otras ventajas como la generación de abonos orgánicos que podrían ser utilizados en cosechas siguientes.

Una de las razones que justifica el desarrollo de la presente investigación es la seguridad energética ya que la utilización de biocombustibles para el reemplazo de los combustibles fósiles se ha convertido en una pieza estratégica de las políticas energéticas locales, regionales, nacionales e internacionales.

En la actualidad la mayoría de los países tienen implementada una serie de políticas o instrumentos que buscan impulsar el desarrollo del mercado de los biocombustibles en todas sus fases de producción, distribución y comercialización.

Uno de los más grandes impedimentos para el desarrollo de la industria verde de los combustibles ha sido la eminente competencia por los recursos base como el agua y el área de cultivo, de tal forma que considerar un plan a gran escala para la producción de biomasa útil para la obtención de biocombustibles repercutiría directamente en la producción de alimentos para la población; razón por la cual muchos países han retardado la implementación de planes extensivos de producción de combustibles a la espera de una solución a este problema. Así, la utilización de una biomasa como el de la penca de la tuna significaría una probable respuesta a este problema; dado que las cactáceas pueden desarrollarse con facilidad en áreas no destinadas al cultivo humano y su alta eficiencia para el manejo del recurso hídrico hace que no impacte en la distribución del recurso hídrico entre los seres humanos y los cultivos desarrollados por el mismo.

El desarrollo de patentes de parte de la empresa privada mantiene en cierta obscuridad el avance de este tipo de tecnologías, corresponde entonces a las

universidades realizar un mayor esfuerzo en estos temas de investigación, justificando así el esfuerzo en este trabajo.

1.4. Operacionalización de variables

Tabla 1.Operacionalización de las variables de investigación

Tipo	Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Unidad
Independiente	Biomasa de penca de tuna.	Materia orgánica cuyo orden de proporcionalidad entre las moléculas de Carbono y Nitrógeno determina la calidad del proceso de producción de biogás.	Relación carbono: nitrógeno de la biomasa de la penca de tuna	Relación peso volumen de carbohidratos.	Gr/kg
				Relación peso volumen de proteína	Gr/kg
Dependientes	Producción de biogás	Proceso metano génico a cargo de un consorcio de bacterias que se encargan de degradar la materia orgánica.	Cantidad de biogás por unidad de biomasa.	Metros cúbicos de biogás por kg de biomasa	m3/kg
			Calidad de biogás.	Porcentaje de metano	%

Fuente: Elaboración propia

1.4.1. Variable Independiente

Se identificó las siguientes variables independientes para la ejecución del presente trabajo de investigación:

- Relación carbono nitrógeno C: N de los cladodios de tuna provenientes de los desechos de la producción agrícola de La Joya- Arequipa 2021.
- Temperatura del biodigestor en el que se desarrolla el proceso metalogénico.

1.4.2. Variable dependiente

Se identificó como variables dependientes:

- Cantidad de biogás producido por unidad de masa de penca de tuna.
- Calidad del biogás producido a partir de las pencas de tuna provenientes del distrito de la Joya – Arequipa.

1.5. Hipótesis

H0: La penca de tuna proveniente de los residuos agrícolas del distrito de la Joya ubicado en la ciudad de Arequipa no es apta para la producción de biogás.

Hi: La penca de tuna proveniente de los residuos agrícolas del distrito de la Joya ubicado en la ciudad de Arequipa es apta para la producción de biogás.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En el trabajo de investigación “Potential Production of Biogas from Prinkly Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) in Sicilian Uncultivated Areas” (2) se planteó como objetivo, evaluar el potencial de producción de biogás e indirectamente, biometano o electricidad y energía térmica, a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica* L.), que podría ser cultivada en una parte de los baldíos sicilianos.

Para aumentar las Fuentes de Energía Renovable (FER) y reducir la dependencia de los fósiles, la conversión de biomasa en biogás a través del proceso de digestión anaeróbica (AD) es fundamental para producir bio metano y ser utilizado como combustible sea en medios de transporte, máquinas agrícolas o de calefacción, eléctricas y energía térmica a través de plantas combinadas de calor y electricidad (CHP). Además, el digestato (producto de la digestión) producido a través del proceso AD se puede aplicar a los suelos como fertilizante orgánico en lugar de los químicos.

La Superficie Agrícola Utilizada de Sicilia, que actualmente está sin cultivar (totalmente 600.000 ha ca.), identificada mediante un software SIG., fue posible computar la producción potencial de biogás, indirectamente, de bio metano, energía eléctrica y térmica.

Los resultados muestran que la producción potencial siciliana de biogás es de 612.115 103 m³, de los cuales se podrían extraer 342.784 103 m³ de bio metano, 67.038 MWh de energía eléctrica y 70.390 MWh MWh de energía térmica. Además, el digestato obtenido se utilizaría como bio fertilizante, tanto dentro de la agricultura convencional y la orgánica.

Este trabajo demuestra que la producción de FER, como el biogás de la tuna, representa una forma rentable de utilizar las áreas no cultivadas. El ingreso del agricultor incluiría no solo el derivado de la venta de bio metano o energía eléctrica y térmica sino también el ahorro por la sustitución de fertilizantes químicos con digestato y la subvención a la producción de bio metano como combustible para medios de transporte, energía en eléctricos y térmicos a partir de biogás.

Los resultados de este trabajo mostraron que la producción potencial siciliana de biogás a partir de la tuna es de 612 millones de m³ ca., que podría satisfacer el 14% ca. de la citada demanda de gas natural. Del volumen anterior de biogás 343 millones de m³ aprox. de biometano se podría extraer 67 mil de MWh ca. de energía eléctrica y 70 mil de MWh aprox. de energía térmica.

En la investigación “Potential of Biogas Production in Anaerobic Co-digestion of *Opuntia ficus-indica* and Slaughterhouse Wastes” (Panizio et al., 2020) se evaluó la co-digestión de aguas residuales de mataderos (SWW) con *Opuntia ficus* bajo condiciones semicontinuas. Para la metodología se estudiaron 4 proporciones de mezcla diferente a temperatura mesófila (38 ± 1 °C) 100 % de SWW, 75% SWW, 25 % de *Opuntia*, 25% de SWW, 75% de *Opuntia* y 100 % *Opuntia*, para inferir diferencias en los biorreactores se marcaron parámetros del proceso como producción de biogás, contenido de metano, potencial redox, pH, alcalinidad, NH₄-N y VFA.

Como resultado se obtuvo que la mezcla de 75 % SWW y 25% de tuna, presentó el mejor rendimiento y que en el resto de los biorreactores, se observó inhibición del proceso de producción de biogás.

En el trabajo de investigación: “Uses of nopal biomass as a source of energy and biofertilizers” (3) se presentan algunos datos interesantes del nopal (*Opuntia ficus-indica*), al realizar una evaluación de otros usos de los cladodios del nopal. Uno de los usos es para la producción de biogás a partir de la bio digestión anaeróbica. La necesidad energética diaria de una familia rural de cinco personas se puede cubrir con 3,61 m³ día⁻¹ de biogás. Considerando que se producen 10 t ha⁻¹ año⁻¹ de cladodios secos y que 3 kg de cladodios secos producen 1 m³ de biogás, es posible obtener el biogás que necesita anualmente la familia a partir de una plantación de nopales de 0,4 ha. Esta cantidad de biogás tiene un valor económico de US\$1078, tomando como referencia el precio del gas comercial. Los materiales sólidos y los bio fertilizantes líquidos que contienen nutrientes y materiales se pueden obtener en los sistemas de biogás. Una tonelada de bio fertilizante sólido equivale a 40 kg de urea, 50 kg de nitrato de potasio y 94 kg de superfosfato triple. Asumiendo un precio promedio de fertilizante de US\$0,32 kg⁻¹, cada tonelada de bio fertilizante tendría un valor de US\$58,80, además, los cladodios secos y triturados se pueden utilizar para la quema directa o en combinación con carbón. También es posible obtener etanol de los cladodios,

pero la tecnología de producción es más compleja. A mayor escala, se podrían producir 8,6 L de etanol a partir de 100 kg de cladodios secos y 24,7 L de etanol a partir de 100 kg de frutos secos, para concentraciones de etanol superiores al 98%. Otro uso de la bioenergía es la extracción de ácidos grasos de los residuos de semillas de frutas y su transformación en biodiesel, cada fruto tiene entre 150 y 300 semillas y el contenido de aceite oscila entre 98 y 139 g kg⁻¹ semilla.

En la investigación “Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer” (4) plantea que *Opuntia ficus* tiene una alta tasa de producción de biomasa seca por hectárea y que presenta una gran eficiencia en el uso de agua lo que proporciona muchas ventajas en términos energéticos, además que pueden crecer en terrenos que no son usados actualmente por la agricultura, esta investigación demuestra que la productividad depende fuertemente del manejo agronómico, aumentando el rendimiento teórico de biogás y metano. Los cladodios de *Opuntia*, tienen un alto contenido de fibra y se degradan fácilmente, pero deben de mezclarse con otras materias primas y presentar una relación C/N 16-30 para ser idónea para los microorganismos en el digestato, también habría que modificar el pH a un rango neutro-alcalino dado que los cladodios tienen un pH entre 3.5 y 5.5.

En la investigación “Nopal (*Opuntia ficus-indica*) energetic potential cultivated in arid and semi-arid zones of chile: an assessment.” (3) se hace un análisis detallado del potencial productivo de muchas regiones chilenas para la producción de biomas de opuntia y esta traducida a biogás, mostrando altos resultados favorables. Este trabajo desarrolla la investigación sobre la fisiología de *Opuntia ficus indica* y de las regiones agroclimáticas del norte de Chile, así como el planteamiento de un sistema que abarque desde el cultivo, cosecha, disposición para luego realizar el análisis productivo final de la explotación de la tuna para generar biocombustible.

En el siguiente trabajo de investigación “Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of cladodes of cactus (*Opuntia ficus-indica*) for biogas production” (5) en el que se evaluó el pretratamiento con peróxido de hidrógeno alcalino de los cladodios del nopal para la producción de biogás con base en la deslignificación (eliminación de la lignina) de los cladodios de nopal. Los efectos de la concentración de peróxido de hidrógeno alcalino en una concentración de 30% p/p y el tiempo de pretratamiento utilizado de 3,6,9 y 12

horas se evaluaron a un ph de 11.5 con una temperatura de 30 °C y a 180 rpm para la eliminación de lignina. Luego se realizó un lote de experimentos de digestión anaeróbica en condiciones de temperatura mesófila 37°C, alterando los valores de celulosa, hemicelulosa, lignina, resultando en una mayor cantidad de biogás producido de 877.9 ± 15.12 ml de biogás/ gramo VS 1613.5 ± 10.76 ml biogás / gramo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Sanaguano, en su trabajo de investigación titulado “Conversión de los Aceites Residuales de la Industria de Alimentos en Biodiesel”, tiene como objetivo, realizar los estudios para determinar las condiciones de reacción para poder obtener biodiesel a partir de aceites provenientes del uso en industrias alimentarias. (6)

En su investigación, plantea como hipótesis la transformación de los aceites que quedan de la industria alimenticia del que se puede lograr sintetizar biodiesel; llegando al final de su investigación a la conclusión de que los aceites de frituras residuales que se utilizaron en su investigación al ser analizados presentaron valores mayores que los que se establece en las normas para los aceites vegetales como son las INEN 38 para acidez, en el aceite de fritura que fue de 3.2%, la norma INEN 35 de densidad máximo establece (0.910 gr/ml) y en el aceite analizado fue de 0.920 gr/ml y para humedad de Norma INEM 39 señala máximo (0.05%), mientras que en el aceite de fritura se obtuvo 0.10%, en base a estos resultados se consideró que los aceites mencionados no son propicios para el consumo humano. Así también se concluyó que:

“La cantidad de gases de combustión del biodiesel en estos estudios fueron menores comparadas con las del diésel de petróleo, así en CO fue de 704 mg/m³ y 12 mg/m³ en SO₂ para el biodiesel, mientras que con el diésel fue de 899 mg/m³ en CO y 38 mg/m³ en SO₂, en CO₂ es de 3,2 % para el biodiesel versus 4,0% para del diésel y NO_x en el biodiesel fue de 42 mm/m³ versus 39 mm/m³ para diésel.” (6)

“Concluyendo que por cada 1200 ml de Biodiesel que se combustione en una hora disminuirá: 11700 (mg/m³) de CO, 48 % CO₂ y 1551 (mg/m³) SO₂, contribuyendo de esta manera a disminuir la cantidad de CO, CO₂ y SO₂ al medio ambiente y además, al ser utilizado el aceite de fritura de la industria alimenticia como materia prima para el proceso de obtención del biodiesel tendrá

también un beneficio ambiental ya que se evitará que se siga desechando a la alcantarilla o a la basura este residuo alimenticio y contamine el agua o el suelo.” (6).

Paredes, en su investigación titulada “Determinación de la tasa de producción y composición del biogás obtenido en un digestor anaerobio mesofílico equipado con una celda microbiana de electrólisis empleando varios sustratos” presenta como objetivo principal evaluar la producción de biogás de residuos, mediante un proceso de biodigestión anaerobia semicontinua, evaluando diferentes parámetros de operación. Menciona que, el objetivo del experimento fue observar el efecto de la composición de los sustratos sobre la producción de biogás. Utilizó tres mezclas: la primera, denominada M1 con una composición de 74.1% de agua de proceso, 18.8% de pulpa y 7.1% de mucílago; la segunda, denominada M2 con un porcentaje de 40, 10.2 y 49.9 respectivamente y la tercera, denominada M3 con un porcentaje de 6.7, 2.5 y 90.8. Determinando que la mezcla M3 fue la que presentó el mayor rendimiento en la producción de biogás seguida de la mezcla m2, mostrándose una diferencia significativa entre los tres tratamientos. Dentro de sus conclusiones resaltantes tenemos que las condiciones definidas inóculo-tiempo de retención para esta investigación no facilitaron la estabilización y correlación de los procesos de digestión anaerobia semicontinua termofílica y mesofílica. (7)

Mamami Mamani, L.M. en su investigación “Optimización del proceso de producción de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos mediante celdas electrolíticas” tiene como objetivo principal, optimizar la generación de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos, donde utilizó la emisión de biogás de los vertederos para elaborar un modelo matemático sobre la generación de biogás y su recuperación. Teniendo como resultado que, las emisiones de gases en un vertedero constituyen una problemática desde el punto de vista del medio ambiente global como desde la perspectiva de la seguridad e higiene para los vecinos próximos a los vertederos, resalta también la interacción de los factores ambientales de composición, cantidad, así como de diseño y manejo de vertederos en la producción de biogás. Menciona también la importancia del uso de un modelo que permita predecir la cantidad de biogás a poder ser recuperado de un vertedero en función a los parámetros involucrados para el estudio de viabilidad de aprovechamiento energético de los mismos. (8),

Llanque Quispe, F.F, en la investigación “Optimización de la generación de biogás mediante celdas electrolíticas con rumen de vacuno en aguas servidas” presenta como objetivo, determinar un rendimiento óptimo de biogás a partir de la biodigestión de lodos del tratamiento de aguas residuales con rumen de ganado vacuno, para esto utilizó tres tratamientos: T1, compuesto de estiércol de ganado vacuno y agua residual; T2, compuesto de lodo de PTAR y agua residual y T3, que es una mezcla de estiércol de ganado vacuno, lodo de PTAR y agua residual. Teniendo como resultado que, el T3 produjo la mayor concentración de biogás, que el tratamiento T1 y T2. (9)

Cóndor Lopez, D.A, en la investigación “Producción de biogás y biol en biodigestores batch a partir de residuos agropecuarios pre-tratados con la técnica de bokashi”, tiene como objetivo evaluar la calidad de biol y biogás después de haber realizado un tratamiento con la técnica de bokashi la cual, es una técnica de fermentación para producir un abono orgánico sólido. Para esto utilizó cuatro mezclas: M1, compuesta por estiércol y agua; M2, compuesta con el pretratamiento de estiércol bajo la técnica de bokashi y agua; M3, conformada por estiércol, cartucho y agua y la M4, igual que M3, pero tratada con la técnica de bokashi más agua; obteniendo que, las mezclas trabajadas con el pretratamiento con la técnica de bokashi mostraron las más altas tasas de producción de biogás. (10)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Biogás

El biogás es un combustible que está formado por una mezcla de dióxido de carbono y metano y un número menor de elementos traza. En el sentido más amplio se entiende por biocombustible todo aquel compuesto capaz de proporcionar energía y que ha sido obtenido de la biomasa.

Callejas, E.S.; Quezada, V.G., en su libro “Los biocombustibles”, mencionan que Biocombustible, es una palabra que se utiliza para nombrar, al grupo de insumos que producen energía y a todos los recursos renovables que tienen procedencia biológica y son orgánicos, quedando apartado de este concepto los energéticos de origen fósil o productos orgánicos que son derivados de estos, aunque su formación también tuvo un origen orgánico, pero se llevó a cabo en épocas muy lejanas, siendo este factor temporal el que no permite calificar como renovables. (11).

En la actualidad los biocombustibles son obtenidos a partir de planas oleaginosas, de plantas con alto contenido de azúcar, de algas que producen niveles considerables de aceite entre otras, la obtención y empleo de estos biocombustibles radica en buscar aminorar los vertimientos a la atmósfera a causa del uso de los combustibles fósiles, así como buscar reducir la dependencia a estos. Siendo el etanol uno de los principales biocombustibles empleados en la actualidad.

El empleo de etanol aporta a reducir el impacto al componente ambiental atmosférico ya que se minimiza las emisiones de CO₂ al sustituir por éste un porcentaje de la gasolina que utilizan los vehículos.

Si se mezcla entre 10 a 25% de etanol con gasolina, se alcanza un índice de octano entre 71 y 76, que sería mejor que la gasolina de mayor calidad la cual no presenta esta mezcla. Con un compuesto así se puede aumentar la compresión en el motor, siendo el funcionamiento más estable, el motor recalienta menos y en consecuencia se puede utilizar a un mayor número de revoluciones (12).

Otro de los combustibles de relativa facilidad de obtención es el metano:

La formación de biogás se realiza en un medio anaerobio (es decir donde la presencia de oxígeno es nula o muy reducida) la degradación de la materia de origen orgánico genera una variedad de compuestos gaseosos que en su conjunto se denomina biogás. Este fenómeno se observa con mucha frecuencia en la naturaleza, sea en el sistema digestivo de muchos animales, en los lugares donde se conjugan agua estancada y materia orgánica presente; un ejemplo de esto son los pantanos donde se produce de manera natural este biogás. La materia orgánica es degradada para llegar a convertirse en gas por acción de un consorcio de microorganismos que intervienen cada cual en una etapa distinta del proceso de formación de los gases, aprovechando el máximo de los recursos energéticos que el proceso les brinda. La mezcla de gases resultantes consiste principalmente de metano (50-75 vol. %) y de dióxido de carbono (25-50 vol. %). El biogás alberga pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases en menor composición. La composición del gas en mayor o menor porcentaje deriva esencialmente por los sustratos (12).

Se entiende por metanogénesis, al proceso por el cual se forma metano por acción de un consorcio de bacterias, las cuales actúan por etapas en un medio anaerobio (13), sostienen que la producción biológica de metano por las arqueas

metanógenas está determinada por una interacción compleja entre factores bióticos y abióticos. Las arqueas metanógenas solo se desarrollan y crecen en hábitats anaeróbicos y pueden ser encontradas en varios ambientes extremos, a menudo viviendo a altas temperaturas y salinidades.

Los microorganismos capaces de procesar los residuos orgánicos y que como consecuencia de tal actividad generan biogás poseen complejas enzimas especiales para desencadenar una serie de reacciones de oxidación-reducción. Por ello, hablamos de la conformación de un consorcio en el que una cepa microbiana produce los sustratos o alimenticios de la siguiente cepa estableciendo así una disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y DQO de la carga contaminante del sustrato Kleerebezem (14).

Según (Ministerio de energía de Chile (MINERGIA); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Global Environment Facility (GEF), 2011), el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica se divide en cuatro fases bien definidas que son: la hidrólisis, la etapa de fermentación propiamente dicha o ácido génica, la etapa acetogénica y la etapa metanogénica.

La etapa de hidrólisis, consiste en la descomposición de los polímeros orgánicos que no pueden ser utilizados directamente en moléculas más pequeñas solubles que pueden pasar por la pared celular de los microorganismos, este es uno de los principales procesos limitantes de la velocidad de descomposición; en la etapa fermentativa o ácido génica, los compuestos solubles se degradan en sustancias que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas como ácido acético, ácido fórmico e H_2 y en compuestos orgánicos que presentan un carácter reducido aun mayor como son el propiónico, butírico, valérico, láctico y como compuesto principal, el etanol. Luego las bacterias acetogénicas se encargan de oxidar estas moléculas. La etapa acetogénica es la que continua en este proceso durante el cual las moléculas que aún no pueden ser utilizadas por las bacterias metanogénicas son degradadas en compuestos aún más pequeños que sí pueden pasar a la ruta de formación de metano.

La respiración anaeróbica es un proceso de óxido-reducción en términos biológicos, donde el aceptor final de electrones es una molécula de carácter inorgánico distinto del oxígeno y de manera muy particular una molécula orgánica. Este proceso es realizado por una familia muy especial de bacterias que

se valen de una cadena transportadora de electrones muy similar a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica. En la fermentación que también es un proceso anaeróbico no existe una cadena transportadora de electrones y es una molécula orgánica la que siempre es el aceptor final de electrones.

Tabla 2.*Características del biogás*

Componentes	56-71% metano (CH ₄) 30-45% CO ₂ Otros gases en ínfimas cantidades
Energía aportada	6-6.5 kW h m ⁻³
Equivalencia	0.6- 0.65 L petróleo/ m ³ biogás
Densidad	1.2 Kg m ⁻³

Nota: *extraído de Biogás from Waste and Renewable Resources (Deublein and Steinhauser 2008).*

Tabla 3.*Propiedades y composición estándar de biogás.*

Composición	55-70 metano 30-45 Dióxido de carbono Trazas de otros elementos
Energía contenida	6.0-6.5 Kwh/m ³
Equivalente en combustible	0.6-0.65 L petróleo / m ³ biogás
Límite de explosión	6-12 % biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750 ° C (Según metano contenido)
Presión crítica	75-89 bares
Densidad Normal	82.5° C
Olor	Huevo en mal estado
Masa Molar	16.043 kg. /Kmol

Nota: *Elaboración propia*

Tabla 4. *Características del metano*

	Temperatura °C	Temperatura K	Presión	Densidad
Punto Crítico	-82.59	190.56	45.98	0.16
Punto de Ebullición a 1.013 bar	-161.52	11.63		0.42
Punto Triple	-182.47	90.68	0.12	

Nota: *extraído de Biogas from Waste and Renewable Resources (Deublein and Steinhauser 2008)*

Cabe señalar que existen muchos gases variantes del biogás natural dependiendo de la fuente de origen y se diferencian en la composición química, en el porcentaje de composición de elementos químicos y por ende en sus propiedades así podemos mencionar los componentes presentes en el biogás:

- CO₂
- H₂S
- NH₃
- Vapor de agua
- Polvo
- N₂
- Silóxenos

Tabla 5. *Efectos de los componentes del biogás en sus propiedades.*

Componente	Porcentaje	Efecto en las propiedades
CO ₂	25-50 % vol.	Baja el poder calorífico. Incrementa el número de metano. Causa corrosión. Daña celdas alcalinas de combustible. Corrosión en equipos y piping.
H ₂ S	0-0.5 % vol.	Emisiones de SO ₂ después de los quemadores. Emisión de H ₂ S en combustión imperfecta Inhibición de catálisis.
NH ₃	0-0.05 % vol.	Emisiones de Nox. Daño en las celdas de combustibles.
Vapor de agua	1-5 % vol.	Corrosión en equipos y piping. Daños de instrumentación por condensado.

		Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas.
Polvo	> 5 μm	Bloquea las boquillas y celdas de combustible.
N ₂	0	Baja el poder calorífico.
Silóxenos	0	Actúan como abrasivos, daño en motores.
Nota: extraído de <i>Biogas from Waste and Renewable Resources</i> (Deublein and Steinhauser 2008).		

Los factores que determinan la composición de CO₂ en el biogás son:

La utilización de orgánicos con largas cadenas de hidrocarburos dentro de los que tienen un alto compuesto de grasa ayuda a mejorar la calidad del gas vigilando de no impactar en la acidez, la cantidad de átomos de carbono presentes en el sustrato se relaciona directamente con el porcentaje en volumen del metano presente en el biogás.

En estándares, la degradación anaeróbica de la biomasa aumenta su calidad con el tiempo de exposición, próximo al final del tiempo de residencia, el contenido de metano aumenta desproporcionadamente a medida que el contenido de CO₂ va inactivando el proceso de hidrólisis.

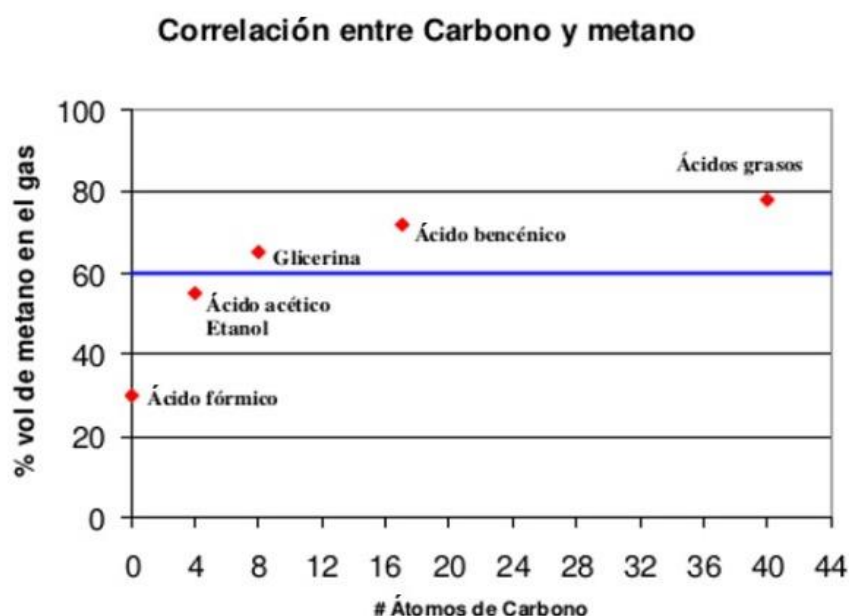
La fermentación, se da de manera más rápida, si el material en el reactor está distribuido homogéneamente.

Cuando existe un elevado contenido de líquido en el reactor, esta captura al CO₂ que queda disuelto en el agua, lo que resta concentración de este en el gas total formado de metano, dióxido de carbono y otros gases traza.

El incremento en la temperatura de fermentación disminuye la cantidad de CO₂ disuelto en el agua.

Cuando se eleva la presión en el proceso, genera una mayor concentración de CO₂ presente en el líquido del sistema.

Figura 1. Correlación entre carbono y metano.



Nota: Elaboración propia.

Cuando hablamos de la presencia de Nitrógeno y Oxígeno en el biogás, estos se encuentran normalmente en proporciones 4:1 y suelen incorporarse en el proceso de ventilación que se necesita para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S) que se genera en el reactor, estos gases pueden entrar también en pequeñas cantidades ante daños en el sistema de la tubería.

La cantidad de amoníaco es relativamente baja, solo cuando se emplea material orgánico proveniente del excremento de aves o algunos casos particulares de basura, la presencia de amoníaco se puede incrementar a niveles hasta 1.5 mg/m^3 , al sobrepasar este límite se pone en riesgo los quemadores e incluso los motores que se emplean.

La cantidad de ácido sulfhídrico final en el biogás depende de la existencia de un paso de desulfuración, pudiendo existir una concentración superior al 0% vol. Cuando el sustrato fermentado es viscoso, el contenido del H_2S es menor que en el caso de sustrato líquido.

Siendo el H_2S un componente muy corrosivo, es necesario lograr una concentración mínima, por lo que normalmente el proceso de desulfurado se realiza aún mientras permanece en el reactor.

El sulfuro de hidrógeno en interacción con el vapor de agua presente en el reactor, se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4), químico que es más nocivo aun para

ciertos equipos como calentadores de agua, esto precisa tener un proceso de desulfuración que se traduce en el empleo de filtros que emplean sustancias como la cal viva o apagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, las cuales son abundantes en sustancias ferrosas, siendo adecuadas por que sufren un proceso de regeneración al exponerle al aire permitiendo nuevamente su uso.

La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contengan, así una masa que contiene entre 5 a 10% de hidróxido de hierro puede absorber 10g de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150g de sulfuro al ser regenerada.

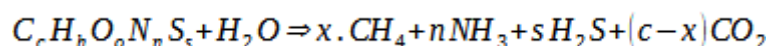
La remoción de H_2S presenta otra alternativa el cual consiste en biofiltros de lecho fijo, en este proceso la fase móvil corresponde al gas y la fase fija está constituida por un soporte orgánico/sintético. Esto corresponde a uno de los sistemas de tratamiento más utilizados debido a sus bajos costos de operación, al bajo costo de material del medio filtrante y a los bajos consumos de agua, además de poseer una alta eficacia en la eliminación de distintos contaminantes no solo de H_2S . Este proceso no genera desecho como lodos y aguas contaminadas. Dentro de las desventajas de este sistema se encuentra el poco control frente a fenómenos de reacciones químicas, debido a que se trata de contaminantes que generan productos ácidos, otro problema que presenta el sistema, es el taponamiento generado por el exceso de biomasa y los grandes requisitos de espacio.

Estos biofiltros son un bloque que presenta un material de empaque con alto contenido de porosidad, que tiene como finalidad dar soporte y servir como origen de nutrientes a los microorganismos, los mismos que se establecen como una película sobre estos filtros, que es la que entra en contacto con el gas y son las bacterias las que capturan los gases a eliminar, para utilizarlos como fuente de nutriente o fuente de energía. En los biofiltros se va generando ácido por lo que es necesario un remplazo periódico del filtro, alargando el tiempo de vida, además de esto es necesario proporcionarles capacidad buffer con la finalidad de contrarrestar el ácido acumulado; mediante el empleo de carbonato de calcio en forma de conchas molidas.

En relación a los siloxanos, estos son variantes de la silicona y se presentan en niveles altos que fermentan mezclas de substratos. Una concentración asumible

de estos compuestos es de 0.2 mg/m³, la quema de biogás con presencia de siloxanos produce SiO₂ que se deposita en la superficie de los pistones.

Ecuación 1



Ecuación 2

$$x = \frac{1}{8} (4c + h - 20 - 3n - 2s)$$

$$y = \frac{1}{4} (4c - h - 20 + 3n + 3s)$$

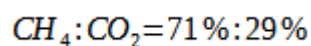
Tabla 6. Principales componentes de las plantas con nitrógeno N y Azufre S.

Producto	Proceso de obtención
Carbohidratos	$C_6H_{12}O_6$
Grasas	$C_{16}H_{32}O_2$
Proteínas	$C_6H_{10}O_2$

Nota: extraído de *Biogas from Waste and Renewable Resources* (Deublein and Steinhauser 2008).

De manera general los sulfuros permanecen en los residuos, el CO₂ se une con el NH₃, por lo tanto, el gas resultante es principalmente CH₄ y CO₂ en proporción:

Ecuación 3



2.2.2. Tuna

Opuntia ficus indica, es una cactácea cuyo centro de origen se encuentra en América, se le conoce con el nombre de nopal, tuna entre otros, presenta unos tallos modificados denominados cladodios.

Hoffmann (15) sostiene que, la cactácea corresponde a una familia de organismos fotosintéticos de hojas carnosas, procedentes de América y que presentan una distribución desde los 56° 10' cerca al río Peace en British, Columbia y Alberta

en Canadá (hemisferio norte), hasta los 50° en la Patagonia, Argentina (hemisferio sur). Existiendo una especie (*Rhipsalis baccifera*) que se ha desarrollado en otro lugar diferente de América existiendo muchas especulaciones de cómo se desarrolló este taxón (grupo de una clasificación sistemática en biología) en otra parte.

La evidencia de que las cactáceas tienen origen en América, se sostiene dado a que las areolas están presentes solo en plantas de América; también encontramos que ciertos detalles como: las flores, frutos y semillas son únicos de los cactus a diferencia de otras plantas espinosas en otros lugares; por último, muchas características microscópicas de la lignina, mucílago y epidermis demuestran que las cactáceas de los desiertos que se ubican en América difieren de los cactus en muchos aspectos (Manual de Cactus: Identificación y Origen - Gobierno Del Perú, n.d.).

La diversidad de climas de nuestro continente ha permitido la evolución de este tipo de plantas que tiene caracteres particulares en cuanto a sus mecanismos de ejercer la fotosíntesis, por cuanto las plantas promedio desarrollan la fotosíntesis basada en una ruta metabólica llamada C3, referida a que el primer compuesto de carbono que se fija de manera estable en esta ruta metabólica es el 3-fosfoglicerato que es un compuesto de 3 carbonos, de ahí que esta ruta metabólica recibiera ese nombre. La fotosíntesis que desarrolla una planta C3 no está provista de ningún mecanismo para reducir el desgaste de agua debido a la transpiración por lo que este tipo de plantas requiere siempre de cantidades estables de agua para su desarrollo y supervivencia.

En el caso de las cactáceas se ha desarrollado una ruta metabólica diferente en la que la fotosíntesis tiene una variación y se le denomina metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) y su nombre se debe a que se descubrió en plantas de la familia crassula (género de plantas) sin embargo, no es la única familia que presenta este mecanismo.

La denominación de metabolismo ácido se refiere a la sumatoria de ácidos durante la noche por las plantas que utilizan este medio para fijar el carbono. Para todas las especies la fotosíntesis CAM siempre va asociado con órganos fotosintéticos (hojas, tallos) de naturaleza carnosa, preparados para retener agua en sus tejidos (16).

La ecología de estas plantas, así como su forma de adaptarse y el desarrollo de este tipo de metabolismo, ha sido determinante para su constitución estructural. Así estas plantas suculentas almacenan un importante volumen de agua en sus medios internos y como parte de la estructura para el almacenamiento de esta agua se ha desarrollado la acumulación de considerables cantidades de carbohidratos que son la materia prima para el desarrollo de muchas formas de biocombustibles como las que trataremos en este proyecto de investigación.

Cerdá, manifiesta que la Unión Europea dice que, la “Biomasa es la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales” (17). Esta definición de la biomasa se centra en el carácter que presenta la materia orgánica al descomponerse ya sea por la pérdida de la funcionalidad molecular de su estructura o por la actividad microbiana que es ejercida sobre ella; sin embargo, se pierde el punto de vista de su origen y del papel en la escala energética universal que presenta la biomasa.

Por lo tanto, la biomasa es toda materia de origen orgánico que en algún momento de la escala trófica universal, acumula y almacena este compuesto (carbono) que después será devuelto a la naturaleza, en esta fase de la fotosíntesis de las plantas y su liberación por la respiración de estas (18). Tal cómo señala Montero, G.; Ruiz Peinado, R.; Muñoz, M. en su libro “Libros electrónicos del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)”.

Desde los inicios de la humanidad la biomasa se utilizó para cubrir el gasto energético siendo la forma más común, el combustionar esta biomasa, dicha práctica se ha seguido manteniendo hasta nuestros tiempos.

El material leñoso, constituye un tercio de fuente energética en África, Asia y Latinoamérica, estableciéndose como el recurso número uno en cuanto a energía de 2.000 millones de personas. En estos hogares, la leña se obtiene sin mediar transacción comercial, utilizándose fundamentalmente para cocinar y calentar utilizando fuegos abiertos o estufas simples, altamente ineficaces energéticamente a la vez altamente contaminante, generando problemas de salud al emitir gases y partículas a causa de la combustión incompleta de la biomasa. (19)

El poder transformar cierta biomasa en otra que presente una mejor combustión y que por lo tanto sea capaz de proporcionar una mayor cantidad de energía se

convierte en un reto para los investigadores de hoy, pese al largo tiempo que se viene trabajando en este tema.

2.2.3. Biogás

Jaramillo (2008), expresa que, el biocombustible es cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa (materia orgánica de procedencia animal o vegetal). Tenemos entre los combustibles renovables sustentables al Biogás, que es un gas combustible producto de la degradación de la materia orgánica (MO) en condiciones de ausencia de oxígeno. El proceso por el cual se procesa el material orgánico disponible, se conoce como digestión anaeróbica como se mencionó anteriormente y es realizado por un consorcio de bacterias específicas que, en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente metano y dióxido de carbono, conocida como biogás y en un residuo (producto estabilizado, mezcla de agua y sólidos) denominado digestato (resultante del crecimiento microbiano, que contiene materia no orgánica, materia orgánica no digerida, biomasa bacteriana y los nutrientes que se encuentran en la MO digerida), que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. La producción de biogás es muy práctica, por la variabilidad de biomasa (Residuos sólidos orgánicos, MO) que se puede emplear en el proceso y por la variedad de diseños de los sistemas de producción. Los tipos y tamaños de los sistemas se encuentran desde muy avanzados y de gran tamaño hasta otros muy simples y pequeños, del tamaño de un estanque de 200 litros o menos. El tamaño depende de la cantidad y calidad de la biomasa disponible y de la tecnología a usar.

2.2.4. Biodigestión

“La tecnología del biogás puede tener el potencial de provocar un cortocircuito en la "transición de energía" del biogás a los combustibles "modernos". La innovación tecnológica para la generación de biogás es fundamentalmente útil en las economías rurales del mundo desempeñando varios fines. El gas es útil como combustible sustituto de leña, estiércol, agricultura residuos, gasolina, diésel y electricidad, según la naturaleza de la tarea y las condiciones y limitaciones del suministro local, suministrando así energía para cocinar e iluminar. Los sistemas de biogás también proporcionan un residuo de desechos orgánicos después de la digestión anaeróbica que tiene cualidades nutricionales superiores al fertilizante orgánico habitual, el estiércol de ganado, ya que está en forma de amoníaco. Los

digestores anaeróbicos también funcionan como un sistema de eliminación de desechos, particularmente de desechos humanos, y pueden, por lo tanto, prevenir posibles fuentes de contaminación ambiental y la propagación de patógenos. Las industrias en pequeña escala también son posibles, desde la venta de excedentes de gas hasta el suministro de energía de una industria rural; por lo tanto, el biogás también puede brindar al usuario oportunidades de generación de ingresos. El gas también se puede utilizar para alimentar motores, en una mezcla de combustible dual con gasolina y diésel, y puede ayudar en los sistemas de riego por bombeo.” (20)

Aparte de los beneficios directos obtenidos de los sistemas de biogás, existe otro, quizás menos tangible y asociado a esta tecnología renovable. Al proporcionar una fuente alternativa de combustible, el biogás puede reemplazar los combustibles tradicionales a base de biogás, en particular la madera. Introducido en una escala significativa, el biogás puede reducir la dependencia de la madera de los bosques y crear un vacío en el mercado, al menos para la leña (sin embargo, es discutible si esto pudiese reducir la presión sobre los bosques). Así como eliminar el trabajo penoso de las mujeres, un suministro regular de energía canalizada al hogar no solo reduce sino elimina la tarea diaria de recolección de leña, que puede en áreas de escasez, ser la tarea que más tiempo consume en el día de una mujer y que toma más de 3 horas en algunas áreas. Liberar energía y tiempo para una mujer en tales circunstancias a menudo permite otras actividades que pueden generar ingresos. Una fuente de energía limpia y libre de partículas también reduce la probabilidad de enfermedades crónicas asociadas con la combustión en interiores de combustibles a base de biogás, como infecciones respiratorias, dolencias pulmonares, bronquitis, asma, cáncer de pulmón y mayor gravedad de la enfermedad Coronaria y enfermedad de las arterias.

Los beneficios también pueden ampliarse, cuando se tienen en cuenta los posibles impactos ambientales. Las reducciones significativas en las emisiones asociadas con la combustión de biocombustibles, como el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO), las partículas totales en suspensión y los hidrocarburos poli aromáticos, son posibles con la introducción de la tecnología del biogás. El uso de sistemas de biogás en una comunidad agraria puede aumentar la productividad agrícola. Todos los residuos agrícolas y el estiércol generado dentro de la comunidad están disponibles para la

digestión anaeróbica, anteriormente, una parte se compostaba y la otra se desperdiciaba, ahora se puede emplear diariamente como combustible (21). Tal como sostienen Pan, K.; Shi, G.; Cheng, J. en su obra *Biogas Digester for Domestic Sewage Treatment*. In *Biogas Technology*.

De acuerdo con el párrafo anterior, si consideramos la parte de los residuos y estiércol que se compostaba en las fincas más el acumulado de la biomasa del biol la sumatoria se traduce en una mayor proporción de biomasa que es retornada a la tierra, es decir se devuelve más a la tierra. Además, como se mencionó anteriormente, la suspensión que se devuelve después de la metanogénesis es superior en términos de su contenido de nutrientes; el proceso de producción de metano sirve para reducir la relación carbono / nitrógeno, mientras que una fracción del nitrógeno orgánico se mineraliza en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), la forma que está inmediatamente disponible para las plantas. Según muchos investigadores, la lechada resultante tiene el doble del efecto fertilizante a corto plazo que, del estiércol, mientras que los efectos fertilizantes a largo plazo se reducen a la mitad. Sin embargo, en los trópicos, los efectos a corto plazo son los más críticos, ya que incluso la fracción de estiércol que se degrada lentamente se degrada rápidamente debido a la rápida actividad biológica.

Según muchos investigadores en 1991, la lechada resultante tiene el doble de efecto fertilizante a corto plazo del estiércol, mientras que los efectos fertilizantes a largo plazo se reducen a la mitad. Sin embargo, en los trópicos, los efectos a corto plazo son los más críticos, ya que incluso la fracción de estiércol que se degrada lentamente se degrada rápidamente debido a la rápida actividad biológica. Como consecuencia de este aporte de biomasa fértil a la tierra se produce un aumento en la fertilidad de la tierra, entonces, puede resultar en un aumento en la producción agrícola. El impacto en los beneficios puede incluir una mejor subsistencia, mayor seguridad alimentaria local o la generación de ingresos de una producción más alta. Los sistemas de biogás, entonces, ofrecen un sistema integrado que se presta a un entorno rural, las plantas se pueden mantener con una variedad de residuos orgánicos de humanos, animales, cultivos y domésticos.

En procesos unitarios la tecnología de los microorganismos anaerobios es utilizada en el orbe para tratar aguas residuales procedentes de la industria, de los sistemas agrarios y de la población en general. (22).

2.2.5. Microorganismos en la producción de biogás

Los microorganismos (o microbios) se refieren a todos los organismos inferiores que tienen cuerpos mínimos y estructuras simples y difícilmente se pueden observar a simple vista. Con un grupo grande y complejo y varias categorías, los microorganismos se pueden dividir en microorganismos celulares y no celulares. Los microorganismos celulares se refieren a aquellos con morfología celular, incluidas bacterias, arqueas y microorganismos eucariotas, mientras que los microorganismos no celulares se refieren a aquellos sin morfología celular, incluidos virus y viroides. Los microorganismos celulares también se pueden dividir en microorganismos procarióticos y eucarióticos. Los microorganismos procariotas se les reconoce como bacterias en un sentido amplio (23) como lo sostienen Deng, L.; Liu, Y.; Wang, W. en su obra *Anaerobic Digestion Microorganisms. In Biogas Technology*.

Es decir, una gran categoría de microorganismos unicelulares primitivos cuyo núcleo celular no está envuelto por una membrana nuclear y cuyo ADN está expuesto en la zona del núcleo, incluidas las bacterias y las arqueas. Las bacterias (sentido estricto), actinomicetos, cianobacteria, micoplasma, clamidia y rickettsia pertenecen a la categoría de bacterias.

El núcleo de los microorganismos eucariotas está envuelto por una membrana nuclear. Las células pueden realizar mitosis y mitocondrias o múltiples orgánulos como el cloroplasto que existe en el citoplasma, los hongos (levaduras, mohos y hongos) en Holomycota, algas microscópicas en plantas y protozoos en animalia son todos microorganismos eucariotas.

“Debido al tamaño mínimo y la apariencia discreta de los microorganismos, las personas reconocieron a los microorganismos mucho más tarde que los animales y las plantas por mucho tiempo; desde la primera vez que Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) observó microorganismos, hace apenas 300 años. Desde su fundación, la microbiología solo se ha desarrollado durante más de 100 años. Sin embargo, los microorganismos poseen una posición decisiva en todo el campo de las ciencias de la vida debido a su rica diversidad, características y funciones biológicas únicas, y juegan un papel importante en la circulación de materiales naturales y en muchos campos como el industrial, agrícola, sanitario y de protección del medio ambiente. En la larga historia de la actividad social humana, nuestro reconocimiento de animales y plantas puede remontarse al

surgimiento de la humanidad, pero el reconocimiento de microorganismos había sido inadecuado durante mucho tiempo. Robert Hooke (1635-1703) describió la estructura del moho mediante la observación al microscopio en su libro, *Micrographia*, y esa fue la primera descripción conocida de microorganismos. En 1676, Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), el "pionero de la microbiología", observó bacterias por primera vez utilizando su microscopio de fabricación propia. Sin embargo, durante los siguientes 200 años, los microorganismos no llamaron la atención suficiente de las personas. A mediados del siglo XIX, Ferdinand Cohn (1828-1898) descubrió que las bacterias generan endosporas cuando investigaba la resistencia al calor de las bacterias. Después de eso, Robert Koch (1843-1910) logró un rápido progreso en el aislamiento de microorganismos, y había aislado y descrito múltiples bacterias patógenas. La tecnología de preparación de cultivos y la tecnología de operación básica relacionada con el aislamiento basado en medio de cultivo sólido y la tecnología de purificación creada por Koch todavía se utilizan en la actualidad. En 1857, Louis Pasteur (1822-1895) anuló la teoría predominante de la auto génesis utilizando el experimento de la botella curva y estableció la teoría de los gérmenes de la vida. Por lo tanto, un nuevo tema: la microbiología fue establecido gradualmente.” (23). Como lo sostienen Deng, L.; Liu, Y.; Wang, W. en su obra *Anaerobic Digestion Microorganisms*. In *Biogas Technology*.

2.2.6. Evaluación mundial de la tecnología del biogás

La disponibilidad de biogás se describe comúnmente en términos de una jerarquía de potenciales. En orden decreciente de tamaño, estos son teóricos, técnicos, económicos y realistas, por ejemplo, podría hacerse una estimación del potencial teórico suponiendo que toda la productividad primaria neta no necesaria para los alimentos podría estar disponible para fines bioenergéticos. Esta suposición daría lugar a un número muy grande y abstracto, porque ignoraría todos los usos de la tierra en competencia y las limitaciones socioeconómicas. En el otro extremo del espectro, un potencial económico limitaría la cantidad utilizable de biogás a la cantidad que podría producirse a un precio específico. Esto daría lugar a un número más pequeño, pero necesariamente más subjetivo. La adición de restricciones adicionales reduce el tamaño de una estimación del potencial de biogás. Por lo tanto, para comparar estudios sobre una base similar, es importante que las definiciones estén alineadas. La mayoría de los estudios considerados a

nivel mundial estiman los potenciales técnicos, pero existe un considerable desacuerdo entre las definiciones.

La bioenergía representa aproximadamente el 9% del suministro total de energía primaria mundial en la actualidad, más de la mitad de esto se relaciona con el uso tradicional de biogás en los países en desarrollo sea para cocinar y calentar utilizando fuegos abiertos ineficientes o estufas simples con un impacto en la salud y el medio ambiente. Un nuevo análisis de mercado de los esquemas estatales de subvención de biogás de Ecoprog con sede en Alemania ha experimentado recientemente enmiendas positivas en Europa, mientras que los países asiáticos están reduciendo este tipo de apoyo por primera vez. La investigación muestra que, en 2018, el número de plantas de energía de biogás (BMPP) volvió a aumentar en unas 300 instalaciones, hoy en día, existen alrededor de 3800 BMPP con una capacidad instalada de alrededor de 60 GW.

Los subsidios para las energías renovables son el factor más importante que impulsa el mercado de BMPP, especialmente en Europa. Los mercados de América del Sur y del Norte, así como de muchos países asiáticos, están bastante estimulados por la disponibilidad de combustible; sin embargo, los subsidios a las energías renovables son un factor importante para el desarrollo de nuevas capacidades. Polonia organizó subastas de BMPP por primera vez en 2018, después de que la presentación se había esperado durante muchos años.

Sin embargo, según el informe, estas subastas mostraron un éxito muy limitado, ya que solo se aprobó un proyecto para recibir subvenciones. Esto se debe a que solo participaron pocos desarrolladores de proyectos, posiblemente debido a la actitud de esperar y ver por parte de muchos inversores. A finales de 2018, Finlandia también introdujo un sistema de subastas que podría beneficiar la generación de electricidad a partir de biogás, Irlanda aprobó un plan de subasta que debería aumentar el establecimiento de ER (incluido el biogás) hasta 2025.

Fuera de Europa, el número de países que redujeron los subsidios al biogás aumentó por primera vez en 2018, Tailandia redujo drásticamente la tarifa de alimentación para la electricidad a partir de biogás y Japón redujo el subsidio para proyectos de biogás con capacidades de más de 10 MWel e introdujo un límite de 200 MWel por año para construcciones adicionales.

Aproximadamente el 50% de este crecimiento se realizará en Asia, especialmente en los dos principales mercados, China e India. Además, América del Norte y del

Sur seguirán siendo mercados atractivos para la electricidad generada a partir de biogás sólido y en particular, sus principales mercados Brasil, Canadá y Estados Unidos, según el informe. Se mantienen atractivas condiciones de subvención en China e India, los países con mayor potencial de crecimiento. En el 2018, India introdujo un plan de apoyo a nivel nacional para la construcción de plantas de cogeneración de biogás (basado en subvenciones para la construcción de plantas). Desde una perspectiva global, el subsidio a la electricidad a base de biogás continúa promoviendo el desarrollo del mercado para la construcción de BMPP. Hasta el 2027, se espera que el mercado mundial de BMPP permanezca en su camino de desarrollo dinámico.

2.2.7. Marco legal

2.2.7.1. Ley de promoción del mercado de biocombustibles Ley N° 28054

Dentro de todo lo citado por esta ley señalaremos los puntos más importantes que apoyan a esta investigación:

Artículo 3: Políticas generales

“Son políticas generales: 1. Desarrollar y fortalecer la estructura científico-tecnológica destinada a generar la investigación necesaria para el aprovechamiento de los biocombustibles; 2. Promover la formación de recursos humanos de alta especialización en materia de biocombustibles comprendiendo la realización de programas de desarrollo y promoción de emprendimientos de innovación tecnológica; 3. Incentivar la aplicación de tecnologías, el desarrollo de proyectos experimentales y la transferencia de tecnología adquirida, que permitan la obtención de biocombustibles mediante la utilización de todos los productos agrícolas o agroindustriales o los residuos de éstos; 4. Incentivar la participación privada para la producción de biocombustibles; 5. Incentivar la comercialización de los biocombustibles para utilizarlos en todos los ámbitos de la economía en su condición de puro o mezclado con otro combustible; 6. Promover la producción de biocombustibles en la Selva, dentro de un Programa de Desarrollo Alternativo Sostenible; 7. Otros que determine el Poder Ejecutivo para el logro de lo establecido en el artículo 1 de la presente Ley. Artículo 4.- Uso de biocombustibles El Poder Ejecutivo dispondrá la oportunidad y las condiciones para el establecimiento del uso del etanol y el biodiesel.”

2.2.8. Características de la combustión de biogás

Las características de combustión del biogás están determinadas por su composición.

“El metano, el monóxido de carbono, el hidrógeno, el sulfuro de hidrógeno y los carbohidratos del biogás son gases combustibles, mientras que el dióxido de carbono y el nitrógeno son gases inertes. El metano tiene una temperatura de auto ignición relativamente alta, pero una alta proporción de dióxido de carbono en el biogás tiene un fuerte efecto inhibitor sobre su combustión y la velocidad de combustión del biogás se ralentiza.” (24)

“El metano, el hidrógeno, el sulfuro de hidrógeno y otros componentes del biogás son todos gases combustibles. Con suficiente oxígeno, arderán cuando se expongan a una llama abierta, emitiendo luz y calor. Cuando el biogás se quema por completo, la llama es de color blanco azulado. La temperatura de combustión teórica del biogás es de aproximadamente 1807,2-1943,5 ° C. (20)

2.2.9. Sistemas de producción de biogás

El objetivo de la implementación de un sistema de digestión anaeróbica es el de proporcionar un ambiente óptimo para controlar la digestión, esencialmente el de medir los parámetros involucrados en el proceso. Un sistema estándar consta de un equipo de efluentes líquidos, de un digestor anaerobio calefactado, un sistema de almacenamiento, de un sistema de conducción de efluentes, un equipo de seguridad y un mecanismo de uso del producto. En general los equipos de biodigestión presentan estos componentes con mayor o menor énfasis en uno de los sistemas que lo integran (20).

2.2.10. Ventajas y desventajas de los sistemas de biogás

Ventajas: una de las principales ventajas de la implementación de sistemas de biogás es el inmenso potencial para remplazar el uso de combustibles fósiles para el consumo de energía, esto es acompañada de otra ventaja el cual es la producción de biofertilizante que es de excelente uso para la agricultura (24).

Sobre las dos ventajas anteriores y como consecuencia de las mismas, tenemos la reducción del impacto negativo al medio ambiente, también a nivel social tenemos la generación de puestos de trabajo en especial en las áreas rurales.

La producción de biogás también genera una economía circular que permite mejorar las condiciones socio económicas de las comunidades. Tiene bajos costos de implementación y a nivel técnico no es complicado.

Desventajas: uno de los principales puntos que se abordan como desventaja de la producción de biogás es que los sistemas no son eficientes por lo que aún se encuentra en investigación técnicas y métodos que logren esto sin incrementar los costos.

Durante la producción de biogás se genera impurezas que resultan corrosivos para equipos y motores que pudieran utilizar el biogás. Otra de las desventajas en la producción de biogás es la dependencia de las temperaturas ambientales, debido que al depender de organismos biológicos estos son afectados en su metabolismo por la temperatura de su ambiente. En la mayoría de los casos también su implementación requiere de un área más o menos extensa por lo que no es de fácil uso en áreas metropolitanas modernas (24)

2.3. Definición de términos básicos

Biogás de penca de tuna

En la biomasa encontraremos la que es directamente fermentable, es decir la que tiene altos niveles de glucosa como es el caso de la pulpa de frutas, también con alto contenido de sacarosa como la que se encuentra en el zumo de la planta de azúcar, remolacha azucarera o sorgo.

También encontraremos la biomasa que no se fermenta directamente y que tiene que ser degradada antes de continuar con el proceso. Esta clase de biomasa las encontramos en los almidones como los procedentes de la papa, camote, granos, yuca entre otros. Otra biomasa indirectamente fermentable es la celulosa y tiene una difícil descomposición.

Teniendo en cuenta lo ya mencionado, una de las ventajas que posee la penca de tuna (*Opuntia ficus indica* [L.] Miller 1983) es la elevada cantidad de carbohidrato en relación con su cantidad de celulosa, los detalles bromatológicos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Composición química proximal de cladodios de nopal amarillo expresado en base húmeda.

Componente	Cladodio de 1 mes de edad (aprox.)	Cladodio de 1 año de edad (aprox.)
Humedad %	92,57	94,33
Proteína (x 6.25) %	0,94	0,48
Grasa %	0,17	0,11
Fibra %	0,3	1,06
Ceniza %	0,08	1,6
Carbohidratos %	5,96	2,43
Vitamina C (mg/100g*)	37,27	23,11
Ca %	0,042	0,339
Na %	0,0018	0,0183
K %	0,00098	0,145
Fe %	0,0792	0,322

Nota: Recuperado de “Estudio Bromatológico del Cladodio del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el Consumo Humano.” (Guzmán Loayza and Chávez 2007) *Revista Sociedad Química del Perú*. 73. N° 1 (41-45).

Como muestran los resultados de la tabla anterior (25), los cladodios que muestran el mayor contenido de carbohidratos son los de un mes de edad llegando a presentar el 5.96% en relación al peso fresco, estando el mayor porcentaje de composición en el agua almacenada, lo cual sería típico para este tipo de planta; sin embargo, es de remarcar el hecho que el valor para carbohidrato es el segundo más alto, lo cual determina su potencialidad para uso en la obtención de biocombustibles.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El enfoque de investigación en el que se encuentra enmarcado el presente trabajo es el cuantitativo, ya que presenta los datos de forma numérica para ser analizados estadísticamente (26) con el objetivo de generalizar los datos de la muestra a la población.

En relación con el método empleado, tratamos del método analítico por cuanto buscamos descomponer el objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas de manera individual (27).

De esta manera analizamos la etapa de acondicionamiento de las pencas de tuna antes del proceso de biodigestión, analizamos también el proceso de la biodigestión, la etapa de la purificación y el de análisis de la calidad de biogás obtenido.

3.2. Diseño de la investigación

La presente investigación desarrolla un diseño transversal dado que se realizará la medición de las variables de investigación en un momento, una única vez durante la experimentación. (28)

También es una investigación experimental, ya que tiene como propósito poner a prueba una serie de hipótesis a través de una serie de comprobaciones de situaciones en condiciones recreadas por nosotros para explicar el experimento en fundamentos analíticos numéricos. (29)

Corresponde a un diseño estadístico factorial completamente al azar de dos factores. (Gutiérrez Pulido & de La Vara Salazar, 2008), es decir que, el primer factor es la temperatura a la que se lleva a cabo la biodigestión en nuestro reactor experimental, el segundo factor es la concentración de la biomasa de tuna en la mezcla con estiércol que será sometida al proceso digestivo, ahora el primer factor, como mencionamos es la temperatura la cual tiene tres niveles: 24°, 30° y 37° y el segundo factor, es la cantidad de biomasa de tuna en la mezcla con estiércol la cual tiene un solo nivel que es de 770gr para un volumen de biodigestor de 4 litros.

En los anexos, se presenta el diagrama de las etapas de la investigación planteadas en el diseño experimental, así mismo se muestra las etapas de relevancia para la investigación donde se obtienen los datos cuantitativos que se procesaron en el trabajo estadístico.

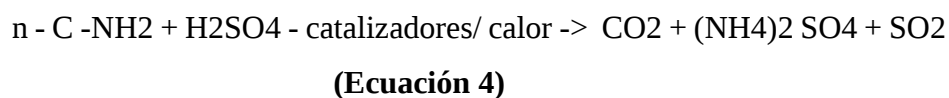
Para el diseño de la investigación se siguió los siguientes pasos para la obtención de las variables de estudio.

3.2.1. Determinación de la relación carbono nitrógeno de la tuna

3.2.1.1. Determinación de la cantidad de proteína

La metodología Kjeldahl, registra la cantidad de N de una muestra problema. La cantidad total de proteína se puede inferir bajo el presupuesto de que la proporción entre la cantidad de proteína y el N tiene un valor cuantitativo exacto. Este método comprende de tres etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración. Si durante la destilación del nitrógeno liberado es capturado sobre una solución de ácido bórico, clorhídrico o en ácido sulfúrico, el patrón determinará el proceso que se inicia en el punto **a** del párrafo siguiente.

a. Etapa de digestión: un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador y ebullición convierte el nitrógeno orgánico en ión amonio, según la ecuación 1:



Procedimiento:

Se introducen de 1 a 5 g de muestra, un tubo de mineralización y se ponen 3g de catalizador que suele estar constituido por una mezcla de sales de cobre, óxido de titanio o/y óxido de selenio. De forma habitual se utiliza como catalizador una mezcla de K₂SO₄: CuSO₄: Se (10:1:0,1 en peso).

Posteriormente se agrega 10 ml de H₂SO₄ concentrado y 5 ml de H₂O₂. En seguida se digiere (digestión es el proceso en el que un elemento orgánico se descompone en moléculas más sencillas) a 420°C durante un espacio de tiempo que está en función de la cantidad y tipo de muestra. Se considera que este proceso digestivo ha concluido cuando la disolución presenta un color verde esmeralda característico.

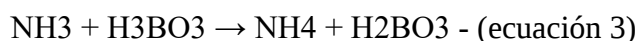
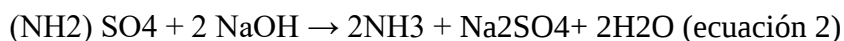
En este nivel, el nitrógeno proteico es convertido en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico en caliente. El avance en tecnología ha permitido crear equipos que se utilizan de manera automática y que son capaces de digerir muchas muestras al mismo tiempo. En la figura 2 se

observa un digestor automático. (RB-30), cuya descripción se encuentra en los anexos. (digestor kjedahl, 6 posiciones 42 mm tubos con 250 ml velp scintific dk6).

Figura 2:*Digestor automático*



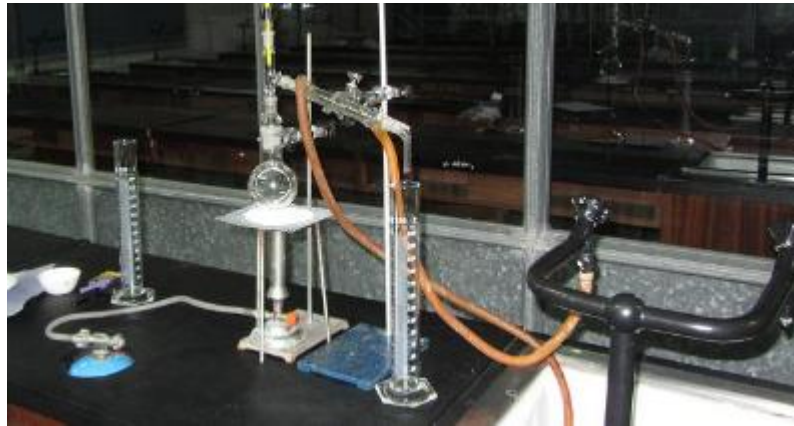
b. Etapa de destilación: se realiza en un equipo de destilación, como muestra la figura 3 (30). Se alcaliniza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoniaco (ecuación 2). El amoniaco destilado se recoge sobre un exceso desconocido de ácido bórico (ecuación 3).



Procedimiento:

Después de enfriar, se adicionan al tubo de digestión 50 ml de agua destilada, se pone en el soporte del destilador y se adiciona una cantidad suficiente de hidróxido sódico 10 N, en cantidad suficiente (50 ml aprox.) para alcalinizar fuertemente el medio y así desplazar el amoniaco de las sales amónicas. El amoniaco liberado es arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación y se recoge sobre una disolución de ácido bórico (al 4 % p/v).

Figura 3: *Equipo de destilación*



c. Etapa de valoración: la cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ion borato formato, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno. Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoniaco destilados.



3.2.1.2. Determinación de la cantidad de carbohidratos

Para la determinación de parámetros instrumentales y experimentales para la detección de carbohidratos simples por HPLC-IR se siguieron los siguientes pasos:

Primer paso: primero se realizó la preparación de los patrones para obtener las curvas de calibración y lograr validar esta metodología, luego de la validación del método, se lleva a cabo el proceso de extracción de cada muestra la cual es inyectada en el HPLC-IR, cuyo certificado de calibración, así como la descripción se encuentran en los anexos. Por último, se cuantifican las muestras para determinar los azúcares presentes y su concentración.

En el Cuadro 1, se presentan las condiciones instrumentales para la determinación de carbohidratos.

Cuadro 1: Condiciones de detección HPLC.

Columna	Cartridge Merck Purospher STAR-NH2 250 x 4,6 mm, 5 µm de tamaño de partícula.
Fase móvil	Acetonitrilo/Agua, 83:17 v/v
Flujo	1,2 ml/min.
Presión	98 PSI x 100
Temperatura	30°C
Tiempo	25 min
Detección	Índice de refracción (refractómetro diferencial).
Volumen de inyección (muestras)	20 µl
Modo	Isocrático

Nota: *Extraído de “Desarrollo y validación de una metodología para determinar azúcares simples en matrices orgánicas mediante HPLC- IR” (Foitzich, A. 2013)*

Segundo paso: es la preparación de los estándares, los patrones de fructosa, glucosa y sacarosa se prepararon pesando 1,0g de cada azúcar en un matraz aforado (es decir que se pesa un gramo de fructuosa, glucosa y sacarosa se depositan por separado dentro de un matraz para cada azúcar, este matraz tiene escala medible), enrazado con agua grado HPLC a 25 ml. Cada estándar queda a una concentración de 40.000 µg/ml.

Segundo Tercero: es la preparación de la curva de calibración, la cual se realizó preparando en un matraz aforado, una solución que contenía 6,25 ml de cada uno de los tres patrones de 40.000 µg/ml, luego se llevó al aforo (25 ml) con agua desionizada, obteniendo una mezcla de fructosa, glucosa y sacarosa a una concentración de 10.000 µg/ml cada azúcar. Esta mezcla de patrones fue inyectada en el cromatógrafo, siendo analizada 6 veces y obteniendo de ella 6 curvas de calibración.

3.2.1.3. Cálculo para la determinación de la relación C: N de la penca de tuna.

Encontrada la cantidad de Carbono presente, así como de nitrógeno, se procede a realizar los cálculos de la relación de carbono nitrógeno bajo la siguiente fórmula matemática:

Ecuación 4

$$\frac{\text{cantidad de carbono} * \% \text{ peso seco biomasa}}{\text{cantidad de nitrógeno} * \% \text{ peso seco de biomasa}}$$

3.2.2. Determinación de la cantidad de biogás producido por unidad de masa de penca de tuna.

Para la determinación de la cantidad de biogás que es capaz de producir una determinada unidad de masa sea en gr o kg, se procede a llevar un registro de la cantidad de materia procesada por proceso de digestión para lo cual se desarrolló una ficha de registro (Anexos – figura 10).

Se registra el peso total de la materia fresca y se lleva el registro del volumen de biogás producido y almacenado en una cámara de jebe con dimensiones conocidas, este proceso se llevó a cabo durante todo el tiempo que duró el experimento, luego se procede a calcular la media estadística de los pesos de biomasa y de los volúmenes producidos determinando de esta manera la cantidad de biogás producido por unidad de masa de penca de tuna.

3.2.3. Determinación de la calidad de biogás producido a partir de las pencas de tuna provenientes del distrito de la Joya Arequipa

Para la determinación de la calidad del biogás se analizó el porcentaje de gas metano producido y dióxido de carbono, se analizó también la temperatura del biogás en relación con la temperatura del ambiente del biodigestor.

Para la evaluación del biogás, se recurrió al análisis de laboratorio una vez por semana por los 5 meses de desarrollo del proyecto de investigación. Este análisis consistió en la toma directa de la medición en la cámara de almacenamiento con el equipo SKY2000 portable que es un detector de gases que directamente detecta la proporción de metano con dióxido de carbono producido, así también se registró la temperatura del interior de la cámara de almacenamiento y se tomó registro en una libreta de apuntes.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Universo

Está constituido por el cultivo de tuna del distrito de la Joya, provincia de Arequipa, donde es empleado para la obtención de la cochinilla.

3.3.2. Población

Está constituida por todas las pencas de tunas de la post cosecha del proceso de cultivo de la cochinilla en el distrito de la Joya provincia de Arequipa.

3.3.3. Muestra

Las inferencias estadísticas que se desprenderán de esta investigación requieren la validación de los resultados mediante una prueba de hipótesis que debe apoyarse en datos validados que se estimarán mediante una distribución puntual y por intervalo. Al tratarse el comportamiento de nuestra investigación de una distribución normal, determinaremos la media y la desviación estándar mediante cálculos matemáticos al desconocer sus valores, a partir de los datos de la muestra (31).

Para esto la muestra estuvo constituida por 10 pencas de tuna que se utilizaron para la cosecha de cochinilla y realizaremos en el laboratorio la obtención de biogás para cada una de ellas; luego se procederá a determinar los estadísticos puntuales de la muestra como son la media y la desviación estándar. Posteriormente, realizaremos la determinación del intervalo de confianza para la media mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 5

$$P\left(\bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} = 1 - \alpha\right)$$

Donde $\bar{X}$, representa el promedio en la medida de la muestra, t es el valor en la distribución en T de Student, S^2 representa a la varianza y n el número de muestras.

Para determinar el intervalo para la varianza utilizaremos la fórmula:

Ecuación 6

$$\frac{(n-1)S^2}{X_{\infty/2}^2, n-1} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{X_{1-\infty/2}^2, n-1}$$

Los puntos críticos de la distribución Ji-cuadrada con n-1 grados de libertad se encuentran en la tabla de distribución para el valor de α dado.

De esta manera determinaremos el tamaño de la muestra bajo el siguiente estadístico:

Ecuación 7

$$n = \frac{t_{(\infty/2, n-1)}^2 S^2}{E^2}$$

Donde S^2 , representa la varianza E, el error máximo que se quiere para el experimento y el valor de la distribución de la tabla de T de student con n-1 grados de libertad.

3.3.4. Muestreo

Se realizó siguiendo un proceso completamente aleatorio para la elección de la parcela agrícola, teniendo esta un sistema de siembra en hilera, también la determinación de esta y del número de planta a ser tomado, para el estudio se realizó también por métodos al azar utilizando para ello un dado de los que se utilizan para los juegos de mesa

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Etapa de Pre-campo:

La preparación para la toma y recolección de muestras se fundamentó en el diseño estadístico y experimental para determinar la cantidad de la muestra necesaria, así como los puntos de muestreo y recolección.

- Etapa de campo:

En esta etapa, se realizó la toma de muestras siguiendo el protocolo establecido por el diseño experimental, la observación fue la técnica de investigación aplicada en esta etapa, así como la medición es decir se toma las coordenadas GPS para la

determinación del punto de muestreo. La descripción del equipo GPS utilizado (Garmin Etrex X32) la encontramos en los anexos.

- Etapa de gabinete:

En esta etapa esencialmente se utilizó como técnica de investigación la medición y como instrumento el “Portable Gas Detector SKY2000” así como la libreta de notas, el registro fotográfico y ficha de inventario de muestra.

3.4.1. Fuentes de información

Fuentes Primarias: se consultó repositorios de las diferentes universidades del país y del extranjero en búsqueda de tesis, publicaciones de investigación y otros documentos científicos que fueran indicativos del estado del arte de la investigación en curso.

Fuentes Secundarias: se realizó una búsqueda intensa en páginas web, artículos de revistas especializadas y no en el asunto de bioenergías.

Fuentes Terciarias: se consultó a varios agricultores dedicados a la cosecha de cochinilla en el distrito de la Joya con la finalidad de conocer el proceso de su actividad, la problemática y las ventajas que ofrece este tipo de industria.

3.4.2. Técnicas e instrumentos

Durante toda la investigación se empleó como técnica de investigación la observación y medición.

Según McDaniel y Gates (1999) (Bernal, 2010) la medición, no mide el hecho, persona ni objeto, sino sus atributos.

3.4.3. Instrumentos de investigación

Los instrumentos empleados para la investigación son el “Portable Gas Detector SKY2000”, la libreta de notas, registro bibliográfico, fotográfico y softwares para el procesamiento de datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Determinación de la temperatura óptima en la producción de biogás para maximizar la relación carbono nitrógeno de la biomasa de tuna.

Para la determinación de la temperatura se realizó tres tratamientos con diferentes rangos de temperatura encontrando los siguientes resultados:

T1: 0.77 kg de biomasa de tuna a 24 °C.

T2: 0.77 kg de biomasa de tuna a 30 °C.

T·: 0.77 kg de biomasa de tuna a 37 °C.

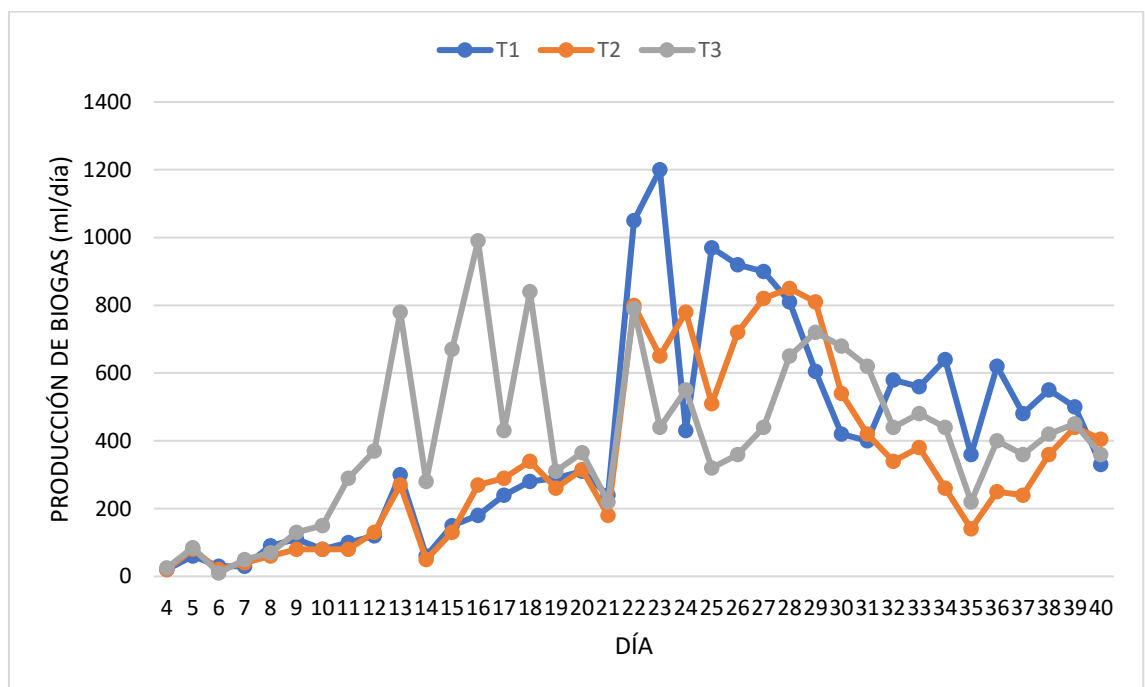
Tabla 8. *Volumen diario producido de biogás en ml.*

Fecha	T1	T2	T3
14-Enero	20	20	25
15-Enero	60	80	85
16-Enero	30	20	10
17-Enero	30	40	50
18-Enero	90	60	70
19-Enero	110	80	130
20-Enero	80	80	150
21-Enero	100	80	290
22-Enero	120	130	370
23-Enero	300	270	780
24-Enero	60	50	280
25-Enero	150	130	670
26-Enero	180	270	990
27-Enero	240	290	430
28-Enero	280	340	840
29-Enero	290	260	310
30-Enero	310	315	365
31-Enero	240	180	220
1-Febrero	1050	800	790
2-Febrero	1200	650	440

3-Febrero	430	780	550
4-Febrero	970	510	320
5-Febrero	920	720	360
6-Febrero	900	820	440
7-Febrero	810	850	650
8-Febrero	605	810	720
9-Febrero	420	540	680
10-Febrero	400	420	620
11-Febrero	580	340	440
12-Febrero	560	380	480
13-Febrero	640	260	440
14-Febrero	360	140	220
15-Febrero	620	250	400
16-Febrero	480	240	360
17-Febrero	550	360	420
18-Febrero	500	440	450
19-Febrero	330	405	360

Nota: Elaboración propia. Medida en ml.

Figura 4. Producción diaria de biogás para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación del volumen de biogás producido por unidad de biomas de penca de tuna.

A continuación, se presenta los valores acumulados para la producción de biogás para los tres tratamientos:

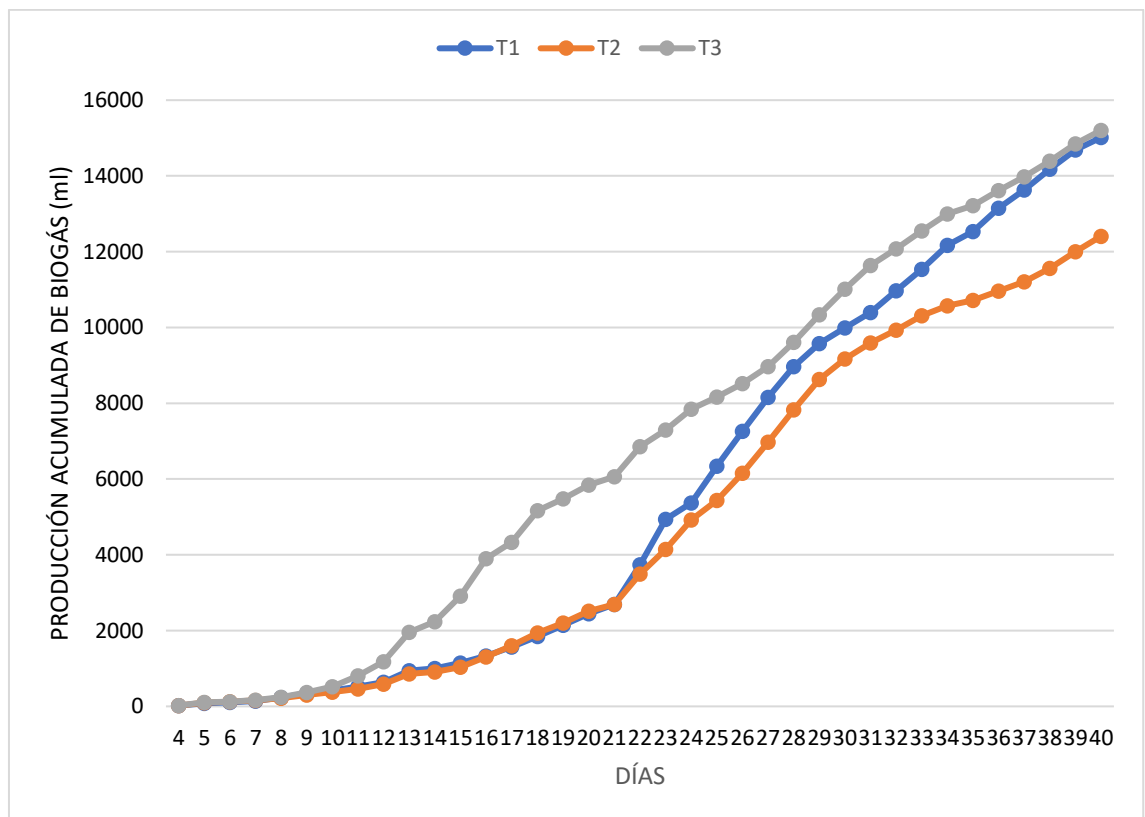
Tabla 9. *Volumen acumulado producido de biogás en ml.*

T1	T2	T3
20	20	25
80	100	110
110	120	120
140	160	170
230	220	240
340	300	370
420	380	520
520	460	810
640	590	1180
940	860	1960
1000	910	2240
1150	1040	2910
1330	1310	3900
1570	1600	4330
1850	1940	5170
2140	2200	5480
2450	2515	5845
2690	2695	6065
3740	3495	6855
4940	4145	7295
5370	4925	7845
6340	5435	8165
7260	6155	8525
8160	6975	8965
8970	7825	9615
9575	8635	10335
9995	9175	11015

10395	9595	11635
10975	9935	12075
11535	10315	12555
12175	10575	12995
12535	10715	13215
13155	10965	13615
13635	11205	13975
14185	11565	14395
14685	12005	14845
15015	12410	15205

Nota: Elaboración propia. Medida en ml.

Figura 5. Producción acumulada de biogás para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia.

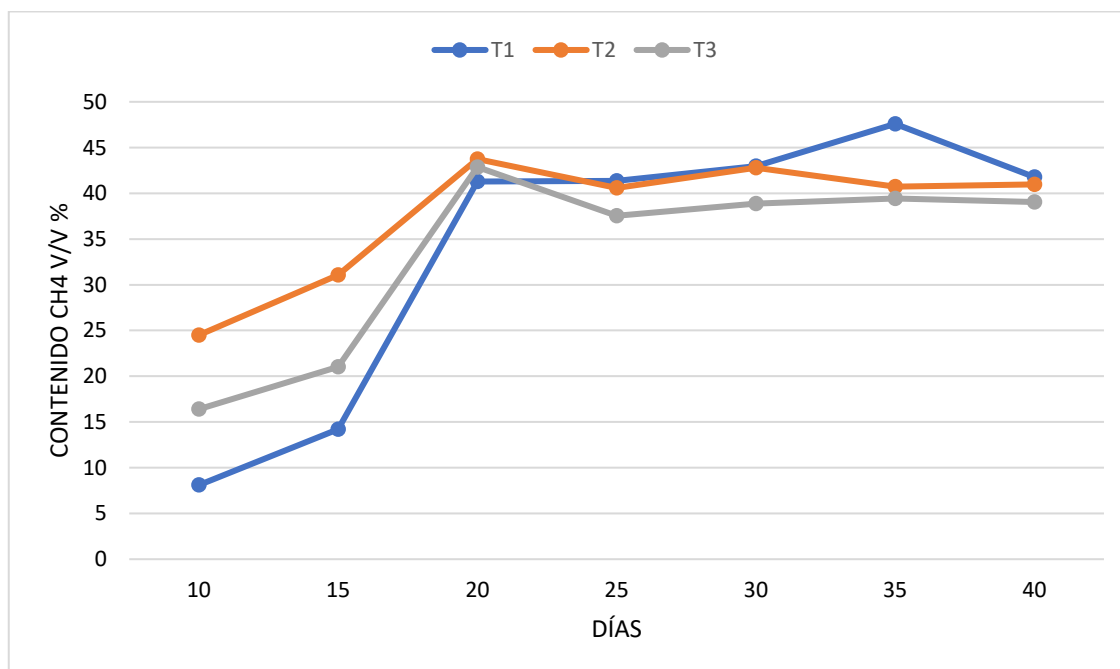
4.1.3. Determinación de la calidad de biogás producido.

Tabla 10. Porcentaje de metano, dióxido de carbono V/V y ppm de ácido sulfúrico.

	T1			T2			T3		
FECHA	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)
20-ENERO	8.1	5.6	120	24.5	8.64	12	16.4	7.4	160
25-ENERO	14.2	7.99	400	31.08	12.96	21	21.02	14.05	811
30-ENERO	41.28	20.74	1077	43.74	19.51	1193	42.81	15.64	222
4-FEBRERO	41.35	14.9	505	40.59	14.37	485	37.54	13.86	71
9-FEBRERO	42.96	14.67	0	42.80	10.38	0	38.86	10.11	50
14-FEBRERO	47.59	13.56	0	40.74	13.98	50	39.11	11.62	22
19-FEBRERO	41.76	10.91	0	40.98	13.71	66	39.06	14.67	10

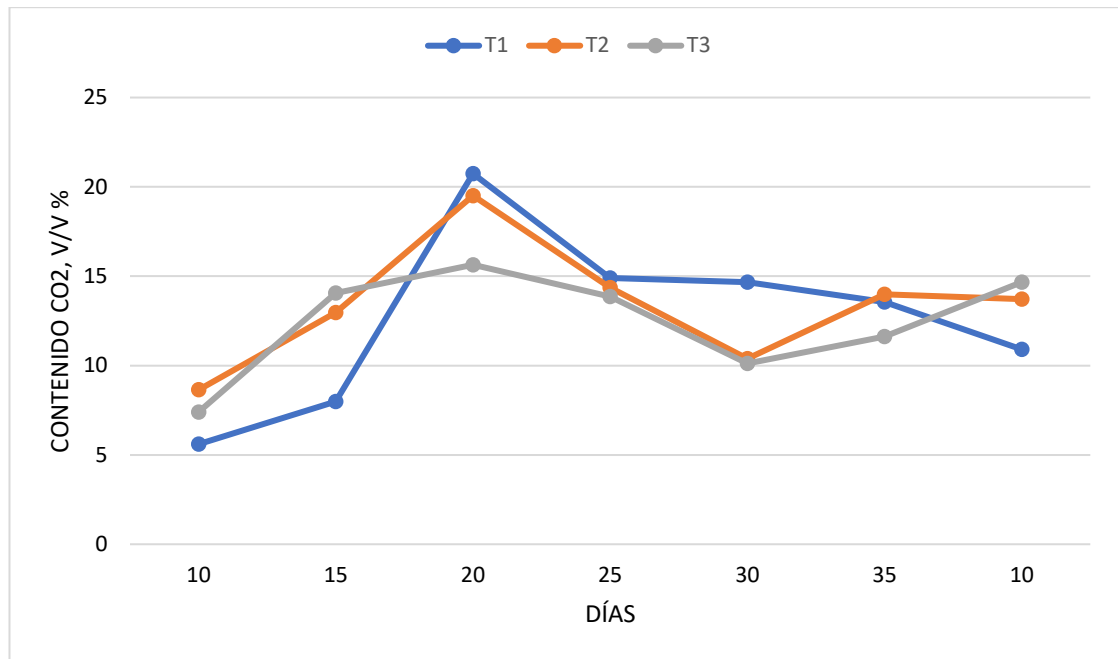
Nota: Elaboración propia.

Figura 6. Contenido de metano para los tres tratamientos



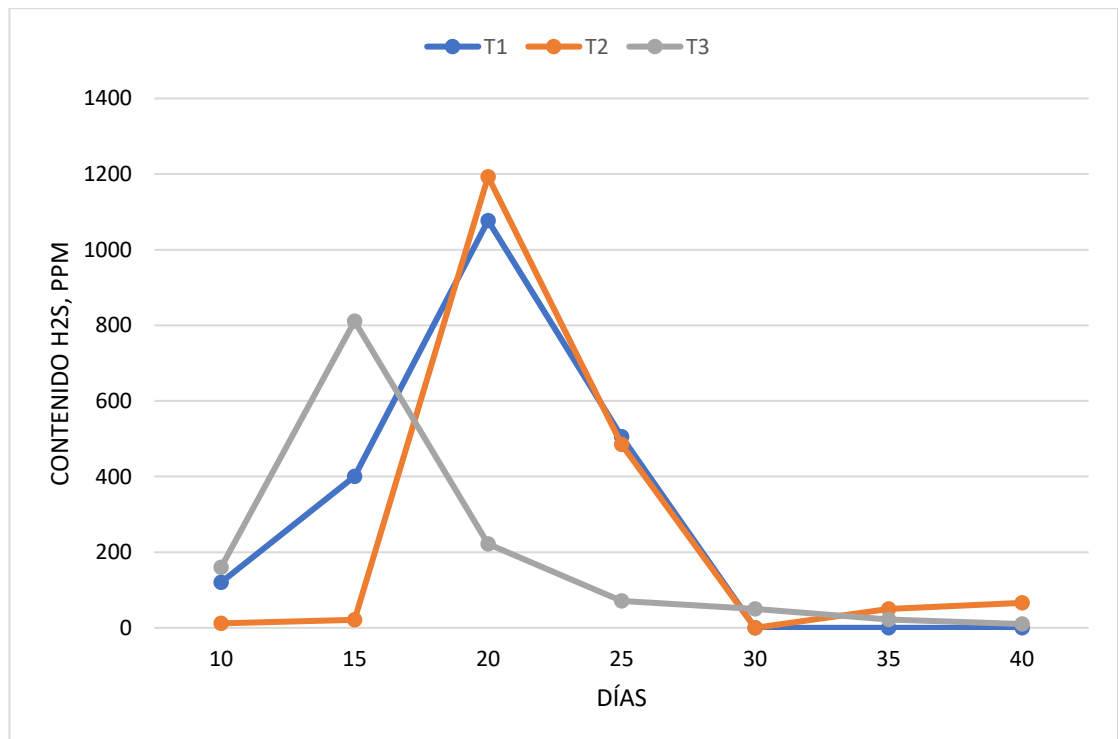
Nota: Elaboración propia. Medida en porcentaje volumen / volumen.

Figura 7. Contenido de dióxido de carbono para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia. Medida en porcentaje volumen / volumen.

Figura 8. Contenido de ácido sulfúrico para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia. Medida en ppm.

4.2.Prueba de hipótesis

4.2.1. Estadística para la determinación de la temperatura óptima en la producción de biogás para maximizar la relación carbono nitrógeno de la biomasa de tuna.

Se realizó la prueba estadística T de student, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos a diferentes niveles de temperatura.

Tabla 11. Estadística de grupo para tratamiento 1 y 2.

TRATAMIENTO	N	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	MEDIA DE ERROR ESTÁNDAR
1	37	405.8108	317.73835	52.23586
2	37	335.4054	256.75155	42.20969

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12. Pruebas de muestras independientes para el tratamiento 1 y 2.

Prueba de Levene de igualdad de varianza			Prueba t para la igualdad de medidas						95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
	F	Sig.	T	gl	Significación				Inferior	Superior
					P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar		
Se asumen varianzas iguales	1.718	.194	1.048	72	.149	.298	70.40541	67.15835	-63.47231	204.28313
No se asumen varianzas iguales			1.048	68.960	.149	.298	70.40541	67.15835	-63.57321	204.38402

Nota: Elaboración propia.

Tabla 13. Estadísticas de grupo para el tratamiento 2 y 3.

TRATAMIENTO	N	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	MEDIA DE ERROR ESTÁNDAR
2	37	335.4054	256.75155	42.20969
3	37	410.9459	242.03661	39.79057

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14. Estadísticas de grupo para el tratamiento 1 y 3.

TRATAMIENTO	N	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	MEDIA DE ERROR ESTÁNDAR
1	37	405.8108	317.73835	52.23586
3	37	410.9459	242.03661	39.79057

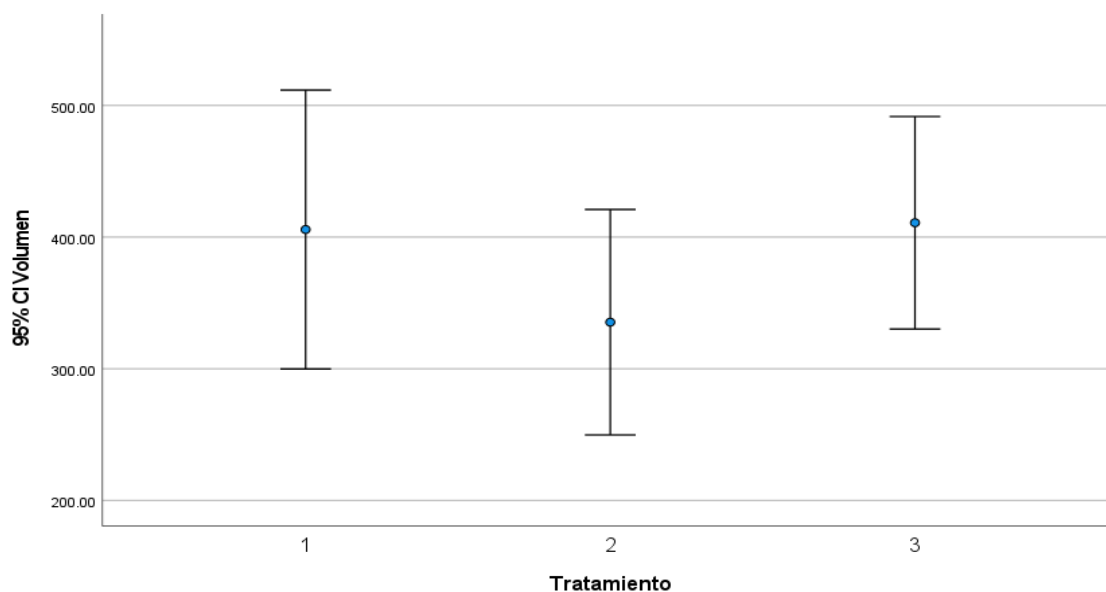
Nota: Elaboración propia.

Tabla 15. Prueba de muestras independientes para el tratamiento 1 y 3.

	Prueba de Levene de igualdad de varianza				Prueba t para la igualdad de medidas				95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
	F	Sig.	T	gl	Significación				Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	3.272	.075	-0.78	72	P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	-136.03566	125.76539
No se asumen varianzas iguales			-0.78	67.255	.098	.938	-5.13514	65.66487	-136.19363	125.92336

Nota: Elaboración propia

Figura 9. Comparación de medias en la producción diaria de biogás para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia.

Al realizar el análisis estadístico, encontramos que el análisis comparativo de medias entre el tratamiento 1 y 2 asume que las varianzas son iguales al encontrar un nivel de significancia, lo mismo sucede entre el tratamiento 2 y 3 y al revisar los resultados entre el tratamiento 1 y 3 encontramos que no existe diferencia significativa en la media de producción diaria de volumen de biogás para los tres tratamientos como se evidencia en la figura 8 al solaparse los márgenes de error en los tres casos.

4.2.2. Cálculo para la determinación de volumen de producción de biogás por unidad de masa de tuna.

Se observa lo siguiente en la Tabla 9 para los tres tratamientos:

T1 = 15015 ml de biogás.

T2 = 12410 ml de biogás.

T3 = 15205 ml de biogás.

Como se observa para los tres tratamientos tenemos que 770 gr de biomasa de tuna es capaz de producir 14210 ml de biogás en promedio.

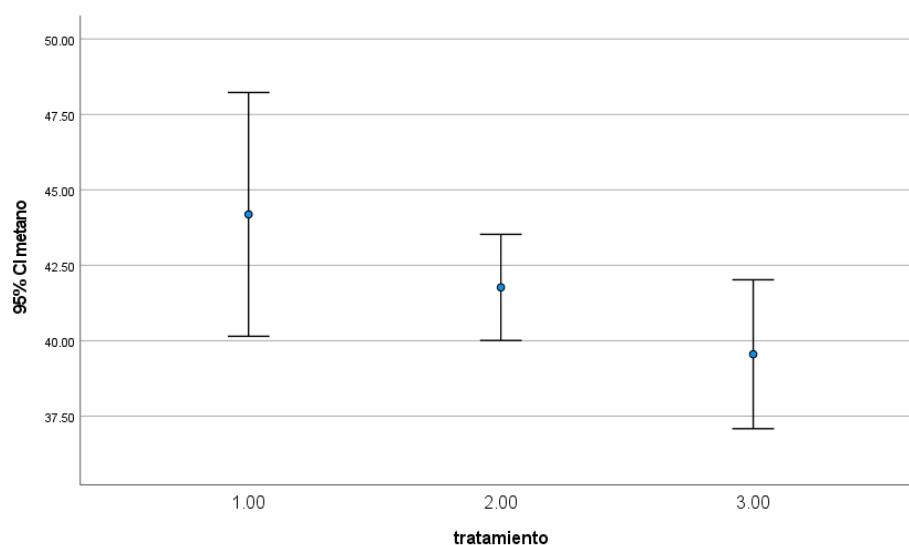
$$\frac{14210 \text{ ml}}{770 \text{ gr}} \left[\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right] \left[\frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tm}} \right] \left[\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \right] \left[\frac{1 \text{ M3}}{1000 \text{ L}} \right] = \frac{18.45 \text{ m3}}{1 \text{ Tm}}$$

Es decir, se puede obtener 18.45 m³ de biogás a partir de 1 tonelada de biomasa de tuna.

4.2.3. Estadística para la determinación de la calidad de biogás obtenido.

Como se sabe la calidad del biogás queda determinada por el porcentaje del metano presente, por lo que al analizar estadísticamente la comparación de medias para los tres tratamientos encontramos:

Figura 10. Comparación de medias de contenido de metano para los tres tratamientos.



Nota: Elaboración propia.

4.3. Discusión de resultados

En la investigación “Producción de biogás en sustrato sólido mediante la digestión anaerobia de pulpa de café” (Rosa Cruz 2015) se realiza una caracterización físico-química del nopal y se presenta la tabla:

Tabla 16. Caracterización físico-química inicial del ensayo de biodigestibilidad de la tuna.

Parámetros	Inicial
C(%)	41.60
H(%)	5.6
N(%)	0.57
S(%)	0.10
R C/N	72.98
ST (%)	13.52 ±0.19
SV (%)	12.24 ±0.04
Ph	7.75 ±0.06
DQOt (gO ₂ L ⁻¹)	24.17 ±1.39
DQOs(GO ₂ L ⁻¹)	5.01 ±0.10
NTA (mgNH ₄ +L ⁻¹)	913.55 ±100
NTK (MGL ⁻¹)	962.28 ±74.85
AP (mgCaO ₃ L ⁻¹)	2791.66 ±275.06
Al (mgCaO ₃ L ⁻¹)	518.33 ±275.66
Relación AI/AP	0.2 ±0.11

Nota: Tomado de Producción de biogás en sustrato sólido mediante la digestión anaerobia de pulpa de café (Rosa Cruz 2015)

Se presenta como resultado una cantidad de nitrógeno de 0.57 % y de carbono de 41.6 %; los mismos que al ser comparados con los valores obtenidos para el presente trabajo en la Tabla 8 que son de 39.1% para el carbono y de 2.1 para el nitrógeno encontramos valores altos para el nivel de nitrógeno en un margen significativo y valores no significativamente diferentes para los niveles de carbono; este incremento en los niveles de nitrógeno causan que la relación de carbono nitrógeno se ubique en la relación de 18/1 encontrándose por debajo de los niveles recomendados para las

materias primas a ser utilizados para la producción de biogás, recordando que los niveles recomendados se encuentran entre 20-30/1.

El análisis de la tabla 10, nos permite determinar que los mayores niveles acumulados de biogás los presentó el tratamiento número 3 que consistió en la aplicación de una temperatura de 37° C, sin embargo no se encontró diferencia significativa entre ninguno de los tres tratamientos, teniendo en cuenta que para los tres tratamientos se empleó una biomasa de penca de tuna de 770 g para un volumen de biodigestor de 4 litros, siendo este el modelo experimental se evidencia que la producción de biogás sería del orden de 18.45m³ (cálculo de proyección) por tonelada de nopal en contraste con los estudios mencionados en los antecedentes donde se reportan niveles promedio entre 25 y 40 metros cúbicos por tonelada.

En relación al análisis de la Tabla 10, respecto a la calidad del biogás obtenido cuyo indicador es la cantidad de metano encontrado para las muestras, vemos que el tratamiento 1, es el que presentó la mayor concentración de metano, aunque el mismo tratamiento presentó los menores niveles de biogás acumulado, sin embargo, no se evidencia diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos. Realizando la comparación respectiva con los antecedentes de la investigación, encontramos que los niveles promedios de metano para otras investigaciones son del orden de 60 a 75 % y de acuerdo a nuestra Tabla 11, se encontró como mejor concentración la de 47%. Siendo el promedio de 44 % por lo que se infiere que el biogás obtenido tiene una baja calidad.

CONCLUSIONES

- Se concluye que el valor biológico de las pencas de tuna de post cosecha del distrito de la Joya, las cuales son empleados para el cultivo de cochinilla fue de 39.1 % para el carbono y de 2.1 para el nitrógeno, encontramos valores altos para el nivel de nitrógeno en un margen significativo y valores no significativamente diferentes para los niveles de carbono; este incremento en los niveles de nitrógeno causan que la relación de carbono - nitrógeno (proporción en la que se encuentra el carbono en relación al nitrógeno), se ubique en la relación de 18/1 encontrándose por debajo de los niveles recomendados para las materias primas a ser utilizados para la producción de biogás (niveles recomendados se encuentran entre 20-30/1).
- La relación carbono-nitrógeno que para el caso de las muestras analizadas es bajo; impacta en los volúmenes obtenidos para la producción de biogás.
- Se determinó que la temperatura óptima en el proceso de acondicionamiento de los residuos de tuna fue de 37°C para la obtención de volumen de biogás; sin embargo, este tratamiento no mostró la mejor concentración de metano. El tratamiento que se realizó a temperatura ambiente y que fue el que produjo los menores volúmenes de biogás fue el que mostró las mejores concentraciones de metano, probablemente a la dinámica bacteriana condicionada por el metabolismo más lento de la materia orgánica.
- La cantidad calculada de producción de biogás en términos de volumen para esta investigación es de 18.45 m³ por tonelada de biomasa de penca de tuna en contraste con el promedio encontrado en otras investigaciones que este alrededor de 25 m³ por tonelada, podemos concluir que la diferencia es significativa y que sería un aspecto importante a tomar en cuenta en términos económicos para la instalación de una planta de procesamiento de penca de tuna para la obtención de biogás.
- La concentración del metano en el biogás como producto final para esta investigación es de 47% en contraste con las concentraciones halladas en otras investigaciones que va del orden de 60 a 75 % existiendo también una diferencia importante en términos de calidad, ya que esta concentración es la que determina la calidad de un biogás.

RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación orientada a la combinación de la biomasa de la penca de tuna del distrito de la Joya con otro tipo de sustrato que sea correctivo en la relación de carbono nitrógeno final.
- Se recomienda estudiar los efectos de la cochinilla en la fisiología de la tuna con la finalidad de proponer medidas agronómicas que pudieran amenorar el impacto del parásito en la planta para mejorar su biodisponibilidad en la producción de biogás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Sin Fronteras.** *Arequipa concentra el 65% de la producción nacional de cochinilla.* 2017.
2. **Comparetti, A., y otros.** *Potential production of biogas from prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) in sicilian uncultivated areas.* s.l. : Chemical Engineering Transactions, 2017. págs. 559–564. Vol. 58.
3. **Homer, I. y Varnero, M.T.** *Uses of nopal biomass as a source of energy and biofertilizers.* s.l. : Acta Horticulturae, 2019. págs. 109-115.
4. **Quiroz, M., y otros.** *Cactus pear (Opuntia ficus-indica) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer.* s.l. : Journal of Cleaner Production, 2021. pág. 289.
5. **Belay, J.B., y otros.** *Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of cladodes of cactus (Opuntia ficus-indica) for biogas production.* Heliyon. s.l. : Heliyon, 2021. Vol. 7.
6. **Sanaguano, H.** *Conversión de los aceites residuales de la industria de alimentos en biodiesel.* 2018.
7. **Paredes, C.** 2019.
8. **Mamami, L.M.** *Optimización del proceso de producción de biogas a partir de los residuos sólidos urbanos mediante celdas electrolíticas.* s.l. : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
9. **Llanque, F.F.** *Optimización de la generación de biogas mediante celdas electrolíticas con rumen de vacuno en aguas servidas.* s.l. : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
10. **Cóndor, D.A.** *Producción de biogás y biol en biodigestores Batch a partir de residuos agropecuarios pre-tratados con la técnica de bokashi.* 2019.
11. **Callejas, E.S. y Quezada, V.G. .** *Los biocombustibles.* 2002. págs. 72-87. Vol. 19.
12. **Torres, J., y otros.** *ESTUDIO DE LA MEZCLA DE GASOLINA CON 10% DE ETANOL ANHIDRO. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS.* s.l. : Scielo, 2002. Vol. II.
13. **Najera, A., y otros.** *Towards Drylands Biorefineries: Valorisation of Forage Opuntia for the Production of Edible Coatings.* s.l. : Sustainability, 2018. Vol. 10.
14. **Ferrer, Y. y Pérez, H.** *Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento.* s.l. : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, 2010. págs. 9-20.

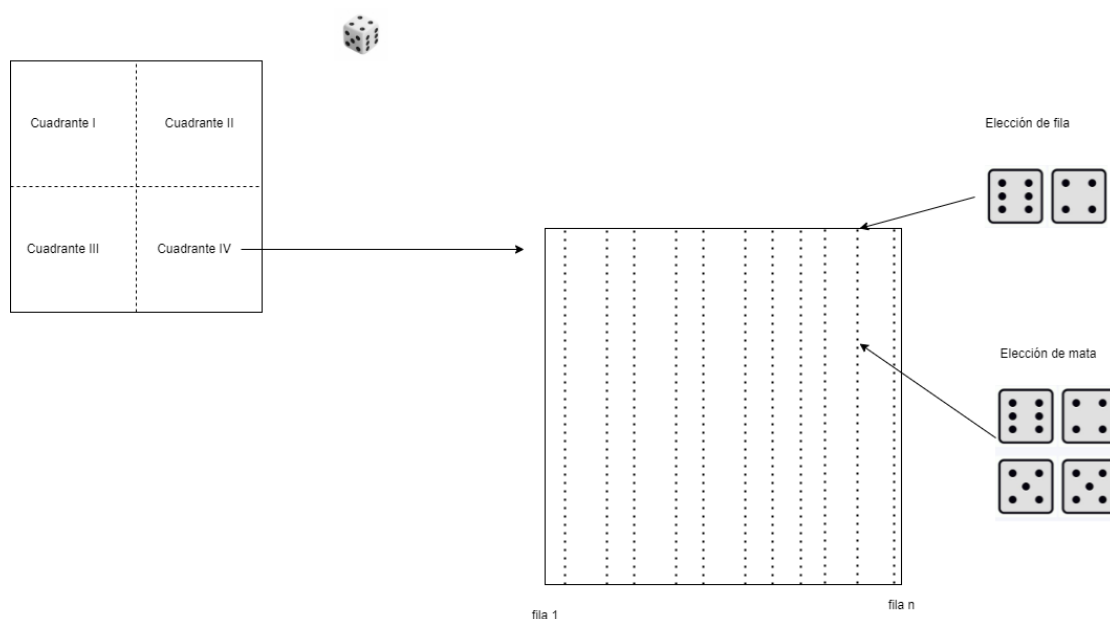
15. **Pauca, A.** *Catálogo de las cactáceas del departamento de Arequipa, Perú.* s.l. : Arnaldoa, 2017. págs. 447–496. Vol. 24.
16. **Bonilla, I., y otros.** *Fundamentos de fisiología vegetal - Dialnet.* 2008. Vol. II.
17. **Rodrigo, J. y González, Q.** *Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente Biomass:production methods, energy potential and environment.* [ed.] L. GONZÁLEZ. 2015.
18. **Montero, G., Ruiz, R. y Muñoz, M.** *Libros electrónicos del Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria (INIA).* s.l. : Libros INIA, 2005.
19. **Vignote, S.** *La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación.* 2016.
20. **Xu Yan, X., YUAN, C. y Zhu, B.** *Design and Optimization of Biogas Energy Systems.* In *Design and Optimization of Biogas Energy Systems.* s.l. : Elsevier, 2020.
21. **Pan, K., Shi, G. y Cheng, J.** *Biogas Digester for Domestic Sewage Treatment.* In *Biogas Technology.* s.l. : Springer Singapore, 2020. págs. 69–107.
22. **Kiely, G.** *Ingeniería ambiental : fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.* Primera. s.l. : McGraw-Hill Interamericana, 1999. Vol. III.
23. **Deng, L., Liu, Y. y Wang, W.** *Anaerobic Digestion Microorganisms.* In *Biogas Technology.* s.l. : Springer Singapore, 2020. págs. 1–29.
24. **Zhang, R. y Cell Workshop, F.** *Biogas Production Technologies.* 2015.
25. **Guzmán, D. y Chávez, J.** *Estudio bromatológico del cladodio del nopal (Opuntia ficus-indica) para el consumo humano.* s.l. : Revista de La Sociedad Química Del Perú, 2007. págs. 41–45. Vol. 73.
26. **Hernandez, R.** 2015.
27. **Schmelkes, C. y Elizondo, N.** *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación.* Tercera. s.l. : O. U. Press, 2012.
28. **Carmelo, V.** *Metodología de la Investigación Biomédica.* 2016.
29. **Bautista, M.E.** *Manual de Metodología de la Investigación.* 2009.
30. **García, E, Fernández, I y Fuentes, Ana.** *Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el metodo Kjeldahl.* Valencia : ETSIAMN. Universidad Politécnica de Valencia.
31. **Sarco, A., y otros.** *Estadística de la investigación: Competencia Transversal en la formación universitaria.* [ed.] A. Salcedo. Primera. 2013.

ANEXOS

ANEXO 1. Determinación de los puntos de muestreo

En el distrito de la Joya Arequipa y sin ninguna razón en particular durante el recorrido por el distrito se eligió un área de cultivo de tuna, después de proceder a reconocer sus perímetros se procedió con la ayuda de un dado para determinar el número de cuadrantes a ser dividida el área; realizada la división se procede a realizar una simple operación matemática para dividir el número de muestras entre el número de cuadrantes siendo el resultado el número de puntos que se tomarán por cada cuadrante. En cada cuadrante y con la ayuda de dos dados que lanzaremos para determinar el número de fila que resultó de la división del área de muestreo anterior y cuatro dados que también lanzaremos para determinar el número de mata o planta de la hilera seleccionada se recolectará la muestra correspondiente consistente en una penca de tuna. Realizando un nuevo lanzamiento para hilera y para planta por cada muestra.

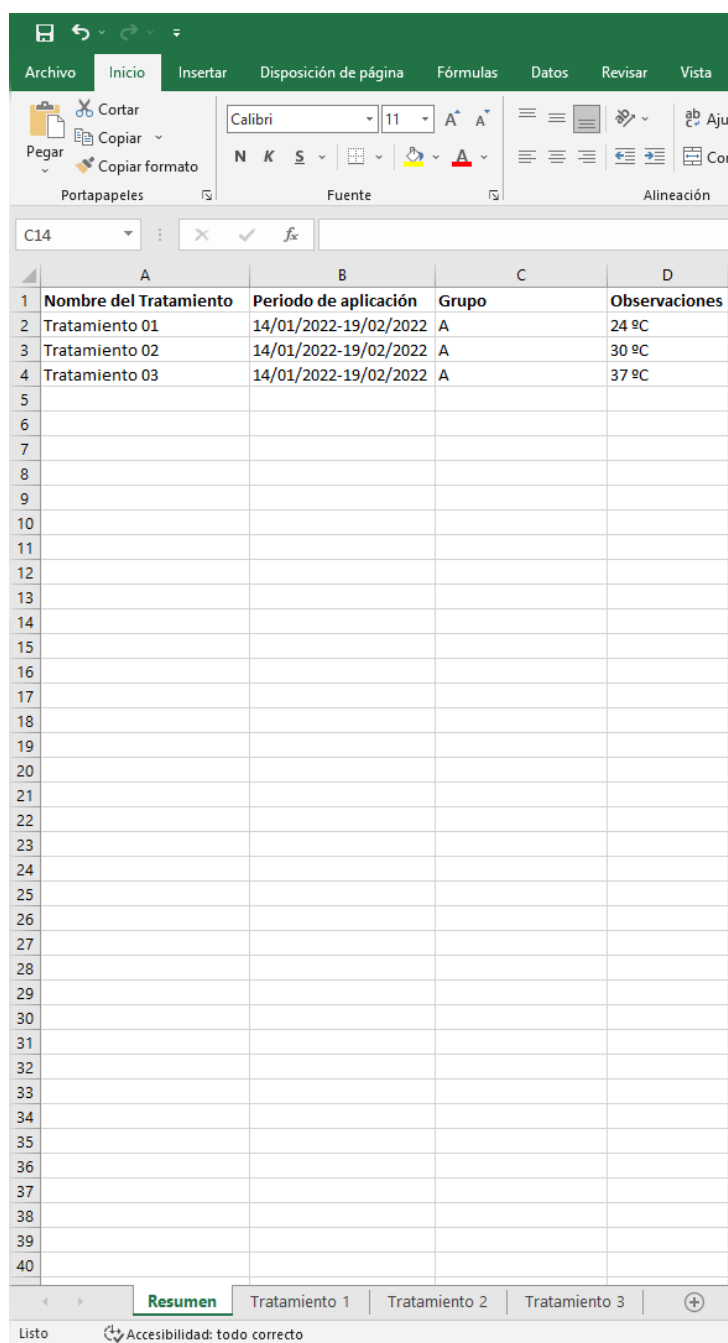
Tabla 17. *Determinación de la toma de muestra completamente al azar*



Nota: *Elaboración propia.*

Fichas de registro de información

Figura 3. Registro de tratamientos.



	A	B	C	D
1	Nombre del Tratamiento	Periodo de aplicación	Grupo	Observaciones
2	Tratamiento 01	14/01/2022-19/02/2022	A	24 °C
3	Tratamiento 02	14/01/2022-19/02/2022	A	30 °C
4	Tratamiento 03	14/01/2022-19/02/2022	A	37 °C
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

Nota: Elaboración propia

Figura 4. Registro de parámetros de experimentación por tratamiento

	A	B	C
1	Composición	Gramos	
2	Peso en fresco tuna	777	
3	Feca de vaca	80	
4	Agua	331	
5	Biol	5	
6			
7	Temperatura de experimentación	Ambiente	
8	días de duración del experimento	37	
9	pH	7.1	
10	promedio de contenido de metano		
11	promedio de contenido de co2		
12	promedio de volumen		
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			

Resumen **Tratamiento 1** Tratamiento 2

Listo Accesibilidad: todo correcto

Nota: Elaboración propia

Figura 5. *Ficha de registro web de toma de datos*

Tesis: Estimación de la biomasa de Opuntia ficus indica en la producción de biogás en la Joya Arequipa 2021

© Diane Tito Rios

Registro de información medida

Tratamiento

% de metano

% de Co2

Volumen

Fecha

Nota: *Elaboración propia*

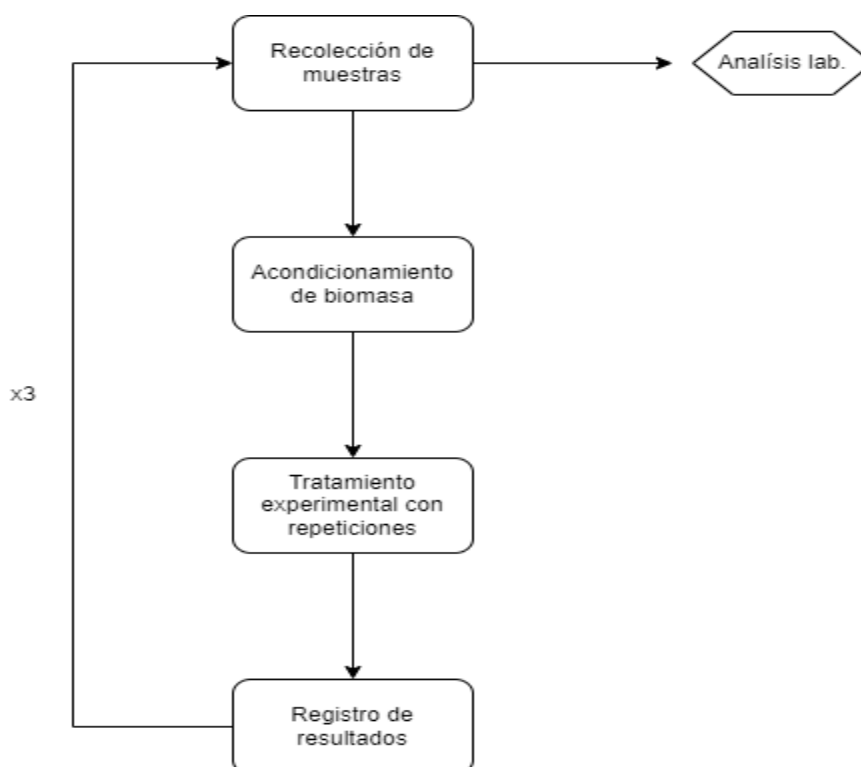
ANEXO 2 Diseño de investigación – gráfica

Factorial 2 x 2

	24º	37º	45º
25%	24º-25%	37º-25%	45º-25%
50%	24º-50%	37º-50%	45º-50%
75%	24º-75%	37º-75%	45º-75%

Resultado: 9 Tratamientos de 3 repeticiones.

Figura 6. Flujo del diseño experimental



Nota: *Elaboración propia, se muestra tras la recolección de la muestra a tratar se procede a aplicar el tratamiento correspondiente en relación a concentración y temperatura determinados en el diagrama anterior; se registra los resultados para las tres repeticiones y luego se procede a reiniciar el ciclo para el siguiente nivel de concentración de penca de tuna.*

Figura 15: Manual de uso de “Portable Gas Detector SKY2000”

**Portable Gas Detector
SKY2000 model
Instruction Manual**



SHENZHEN YUANTE TECHNOLOGY CO.,LTD.

ADDRESS: 4F, BLDG B, GAOCHUANGDE INDUSTRIAL PARK, NO.7, SANHE ROAD, DALIANG,
LONGHUA DISTRICT, SHENZHEN
TEL: 86-755-23762934
FAX: 86-755-85258143
WEBSITE: www.skyante.com/www.isafegas.com

www.isafegas.com

User Manual-SKY2000

Thanks for purchasing our product. Please read the user manual carefully before using.

Keys Operation:

	Turn on/off: long press for 3s to turn on/off the device, short press to confirm or save data.
	Menu: in detection mode, press this button to enter into parameter setting mode, and in parameter setting mode, press this button to move the cursor.
	Plus: in parameter setting mode, short press it to select items upward or add value. Long press for 3 seconds to turn on/off alarm function quickly.
	Minus: in parameter setting mode, short press it to select items downward or decrease value. Long press for 3 seconds to turn on/off air pump quickly.
	Exit: in parameter setting mode, short press it to go back to previous menu. Long press to shift the gas concentration unit quickly.

(Note: The long press function only work in detection mode. When you change or reset any data, please remember to click "ON/OFF" button to confirm and save the settings. Remember to turn on the pump when start the detection. Please turn off the pump when there is no need to detect, which will be helpful for the service life of the pump)

Power On / Off

Put the detector in clean air, and press the "ON/OFF" for three seconds, the detector will be turned on and the pump will start to work. The screen displays the following interface successively: Brand and Logo, main parameter interface, initialing countdown. The countdown would be 60 or 120 seconds, which is to make sure that the sensors are fully activated. After countdown, the device enter normal detection interface. Take the detector out of the detected environment and wait for the data to get down to zero, then press the "ON/OFF" to turn off the detector

www.isafegas.com

2

Zero Calibration

Zero calibration must be done in clean air. Better to do once after alarming happens.

Press "MENU" to enter parameter setting mode, select the "calibrate zero", and press "ON/OFF" to enter the mode. Observe the value of "real time concentration". If the reading is not zero and the drifting is too big when the reading is stable, then it is necessary to conduct zero point calibration.

Press "ON/OFF", the real-time concentration will go back to zero, and press "ESC" to go back to detection mode, gas concentration values also back to zero.

Note: Zero calibration of oxygen detector, nitrogen detector and carbon dioxide detector (target gases are component of the air) can not be done in the air. Only the target point calibration (value of target point concentration is the standard concentration values in the clean air) can be done.

Process of Over-range incorrect operation

Users should avoid using gases which exceed the measure range to impact the sensor, because it will affect the lifespan and sensitivity of the sensor, even, "poison" the sensor. If there is any over-range incorrect operation makes the detector displaying an concentration at a large reading, the remedy is to take the device out of the environment immediately and put it in clean air for over half an hour, and then observe the reading, if it keeps going down, then wait until the reading back to zero before powering it off, and do the zero point calibration next time before using it. If the reading maintained at full scale, user should send the device back to manufacturer or agent for repair or replacing the sensor.

www.isafegas.com

3



Note

*If detector is used for the gas cylinder detection, considering the high pressure in the cylinder, please use a pressure regulator, and keep it as the below data:

Flow rate: 800mL~1L/minute

Pressure: 0.1MPa or 1Bar

*Please put the detector in clean air for about 5 minutes and waiting for the data falling down to normal before turning it off after measurement.

Operation Interface

When the detector is turned on completely, the device will enter the

www.isafegas.com

4



detecting interface. The gas type will be showed on the top left, and the time and battery power will be at the right. In the middle, there is the real-time concentration. If the detector is with data storage function, there will be the storage status at the top of the concentration: ON or OFF, and the total storage number. There will be BEEP-ON at the bottom left, which means the alarm is on. The PUMP-ON at the bottom right, which means the pump is working.

Alarm Status

When the detected gas concentration is higher than the low alarm value, the alarm sound will be on, yellow light will be flickered.
When the detected gas concentration is high than the high alarm value, the alarm sound will be on, red light will be flickered.

Alarm Setting

Press "Menu", choose the "Alarm point set", and start to set the alarm value.

There are LOW POINT and HIGH POINT for set, press "MENU" to move the cursor to the value you want to set, and press the "PLUS" or "MINUS" to change the value. After the setting is done, press "ON/OFF" button to save the settings.

Low Battery Alarm

When the battery is low, there will be sound, light low battery alarm. There will be sound and light every 5 seconds to remind the user to charge the device in time. When the battery is used up, the device will be turned off automatically.



Erase history data

To make sure the detector work perfectly and you can check the history data quickly, we suggest you to erase the history data regularly. Press MENU, choose the "Erase ex_flash", password is needed (the password is 9999), then press ON/OFF, it shows that "erasing", and when finished, it will turn back to the detecting interface.

Note: Storage function is an optional function. If you don't add this function when making purchase, then the instrument will not have "storage set", "view history data", "erase history data" functions.

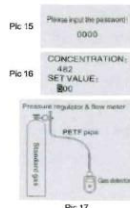
Target Point Calibration

Note: Calibration needs to be done by professionals and with necessary accessories and standard gas.

Prepare the standard gas before starting the target point calibration. In detection mode, press "MENU", select "calibrate span", press ON/OFF button to enter. Then you will need to enter password. (If you need password, please contact the manufacturer to get it)

After entering the password successfully, press ON/OFF to enter the target point calibration interface, as shown in the picture. The interface will display "concentration", "set value. The concentration is the result got from the calculation of several internal calibration parameters. The process of calibration is the process to recalculate the internal parameters of the device. The set value is the value need to be entered manually; it should be the concentration of the standard gas to be calibrated. Select the parameter under the current interface, modify its value with "PLUS" and "MINUS" button.

www.isafegas.com



Pic 17



Restore Setting

When all the settings are wrong, or users operate the detector in a wrong way, you can restore the detector to factory settings. But if the detector works normally, please don't operate this setting. In order to avoid wrong setting, password is needed. If you want to restore the detector to factory setting, please contact the supplier.

Storage set

In the storage setting, you can set the storage status and the interval. Every time you turn on the detector, the storage status defaults OFF, so you need to set the storage status if you want to record the data. Press MENU, choose the "Storage set", move the cursor by pressing MENU at the "ENABLE", press MINUS to change NO to YES. The storage interval can be 5 seconds, 10 seconds, 15 seconds, etc. The highest interval is 1 hour.

View history data

Press the MENU, choose "view history data". Then at the top is the record total number, and the reminder "PLEASE SELECT". Now, if you press MINUS, then the record data will be from the first record to the second in turn. If the record number is above 10, and you want to check the specific number, you press the MENU again, then you can input the exact number and check that record (press the MENU to move the cursor, and press the MINUS and PLUS to change the number), press ON/OFF to confirm and then you will see the detailed record.

In the detailed record interface, at the top are the record total number and current number. In the middle are the date and time, and the concentration is at the bottom.

www.isafegas.com

6



The calibration process is as below:

1. Connect the detector with standard gas cylinder by hose.
2. Enter the target point calibration interface, set the "SET value" as the standard gas concentration.
3. Release the standard gas to the detector in a flow rate of 500mL/min. The value of "concentration" will become larger gradually, and become stable after 30seconds.
4. When the value of "concentration" is stable, press the "ON/OFF" button, the value of "concentration" will be same with or almost same with the "Set value". The calibration is finished.
5. Cut off the standard gas supply. Press "ESC" to go back to detection interface.

www.isafegas.com

8

Figura 16: Certificado de calibración del “Portable Gas Detector SKY2000

Shenzhen YuanTe Technology Co., Ltd.

TEST CERTIFICATE

Model: SKY2000-WH-M3						
Serial NO.: 210917B7				Date of issue: 2021-09-18		
Version NO.: V4.5				Next Calibration: 2022-09-17		
Test Report						
1. The detector passed all the tests.						
2. The detector is calibrated correctly.						
3. The detector is QC passed and allowed for shipment.						
Calibration						
Measurement Unit						
No.	Standard gas	Standard gas concentration	Value before calibration	Value after calibration	Response time	Remark
1	CH4	50.45%VOL	39.71%VOL	50.46%VOL	<30s	
2	CO2	50.45%VOL	32.96%VOL	50.48%VOL	<30s	
3	H2S	828ppm	455ppm	832ppm	<30s	
Certification						
We certified that this equipment have been checked, maintained and calibrated according to manufacturer's specification. ☒ Test Passed ☐ Test Failed Shenzhen YuanTe Technology Co., Ltd Engineering Department						

Figura 17: Análisis de Biogás



Leticia 100, Carmen Alto
Cayma, Arequipa

ANALISIS DE BIOGAS

Solicitante: Diane Tito Ríos

Procedencia: Arequipa

Muestra de: Biogás

Factura: pendiente

Período: 20 de enero a 24 de febrero 2022, periodicidad cada 5 días.

Equipo Utilizado: SKY 2000, Portable Gas Detector

Shenzhen YuanTe Technology Co. Ltd.

FECHA	T1			T2			T3		
	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)	CH4 (% v/v)	CO2 (% v/v)	H2S (ppm)
20-ene	8.1	5.6	120	24.5	8.64	12	16.4	7.4	160
25-ene	14.2	7.99	400	31.08	12.96	21	21.02	14.05	811
30-ene	41.28	20.74	1077	43.74	19.51	1193	42.87	15.64	222
04-feb	41.35	14.9	505	40.59	14.37	485	37.54	13.86	71
09-feb	42.96	14.67	0	42.8	10.38	0	38.86	10.11	50
14-feb	47.59	13.56	0	40.74	13.98	50	39.44	11.62	22
19-feb	41.76	10.91	0	40.98	13.71	66	39.06	14.67	10
24-feb	41.97	21.45	0	38.56	10.96	0	30.43	15.39	0

Ing. Godofredo Peña Dávila

CIP No 31528

Tabla 18. *Relación carbono – nitrógeno para la tuna procedente de la Joya.*

% Carbono	% Nitrógeno
39.1	2.1

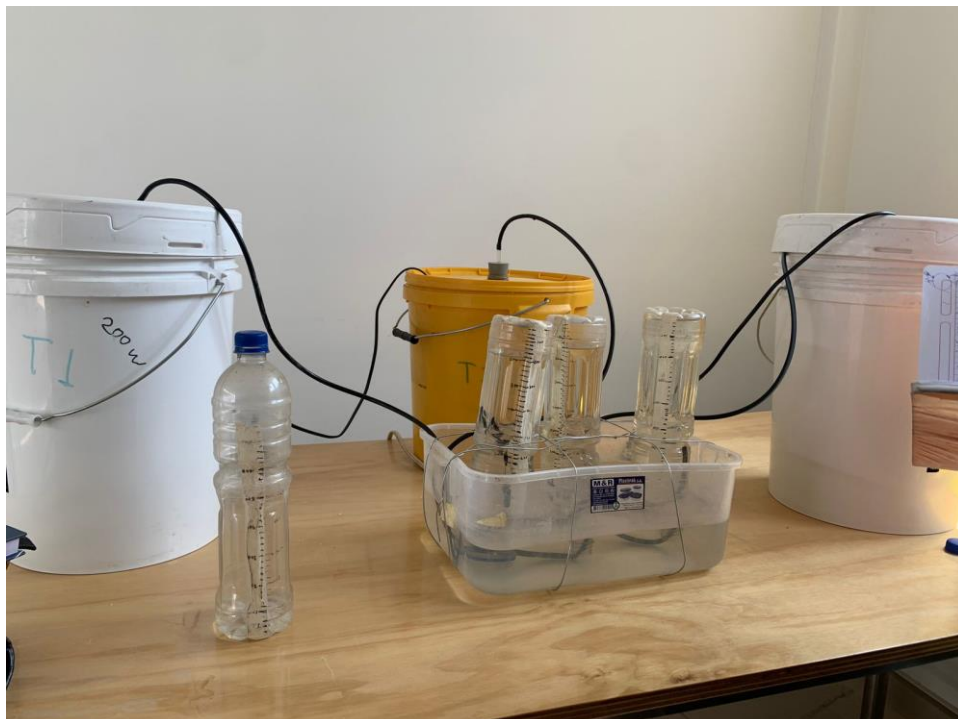
Nota: *Elaboración propia. Resultados obtenidos en laboratorio.*

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Trabajo de campo, tomas de muestra para la experimentación



Fotografía 2. Modelo experimental para los tres tratamientos



Fotografía 3. Preparación de los biodigestores tratamiento 1 y 2



Fotografía 4. Toma de datos durante la experimentación



Fotografía 5: Equipo utilizado en la medición de metano, dióxido de carbono y ácido sulfúrico.



DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

GPS GARMIN ETREX 32X



GPS eTrex 22x / eTrex 32x Garmin

Modelo G020207

GPS eTrex 22x / eTrex 32x Garmin

Modelo a elegir:

- eTrex 22x
- eTrex 32x: GPS avec altimètre barométrique, boussole à 3 axes et connectivité ANT+ (capteurs)

Los dispositivos GPS Garmin eTrex 22x y eTrex 32x son dispositivos de geolocalización fiables, resistentes e impermeables diseñados para todas las actividades al aire libre: senderismo, ciclismo, quads, caza del tesoro...

Incluyen un mapa TopoActive Europa que indica vías fluviales, parajes naturales, edificios y muchos puntos de interés (tiendas, restaurantes, estaciones, aparcamientos, etc.).



- Pantalla a color antirreflejo de 2,2 pulgadas (3,5 × 5,6 cm, 5,6 cm en diagonal)
- Resolución de 240 x 320 píxeles
- Recepción de satélites GPS y Glonass para posicionamiento preciso y rápido
- Mapa de Europa TopoActive precargado para carreteras y caminos transitables
- Imágenes satelitales BirdsEye para mostrar vistas realistas (se requiere suscripción)
- Memoria interna: 8GB
- ranura para tarjeta microSD
- Brújula electrónica de 3 ejes con giroscopio - eTrex 32x
- Altimetro barométrico (calibración automática) - eTrex 32x
- Funciona con 2 pilas AA (no incluidas)
- Gran autonomía: hasta 25 horas en modo GPS
- Compatibilidad de mapas: City Navigator, mapas topográficos
- Soportes disponibles para bicicleta, moto y quad

Ideal para senderismo, trekking y actividades al aire libre

GPS Garmin Estados Unidos

CERTIFICADO CALIBRACIÓN GPS

No es posible realizar una certificación de calibración para los equipos GPS por la propia naturaleza de estos; los equipos GPS reciben la señal de satélites artificiales que orbitan la tierra, esto imposibilita la condición de reproducir siempre las mismas condiciones, ya que estas dependen de las zonas de trabajo, la hora del día y la disposición de los satélites en el cielo visible.

Por otro lado, los equipos GPS no realizan una medición sino un cálculo basado en señales electromagnéticas con un software interno que realiza el cálculo en base a las señales recibidas de los satélites.

HPLC SISTEMA CROMATOGRÁFICO LÍQUIDO DE ALTA VELOCIDAD DE GRADIENTE CUATERNARIO CON DETECTOR IR MODELO ECS05.



CARACTERÍSTICAS

- Sistema de HPLC de alta eficacia que contiene detector UV-VIS y PDA, horno de columna, bomba analítica, caja de gradiente y muestreador automático. El detector con ocho canales en un rango de 200-800 nm y un nivel de ruido muy bajo, también ofrece un escaneo de alta velocidad de hasta 100 Hz.
- La comunicación de las unidades se realiza mediante RS232 o Ethernet (LAN). Este sistema no requiere una tarjeta convertidora de PC A/D adicional. El sistema contiene automuestreador y *software Clarity*.

SISTEMA HPLC COMPUESTO DE:

- [DETECTOR RI](#)

Es un detector RI que ofrece alta sensibilidad, estabilidad y reproducibilidad para una detección óptima de RI.

El sistema óptico ahora está mejor aislado contra los cambios de temperatura y con ajustes de temperatura programables asegura una línea de base estable y una relación señal / ruido óptima.

El cero automático, la purga, la polaridad, la temperatura y la frecuencia de la salida de datos se pueden controlar externamente mediante el puerto USB y RS232. El estado del sistema RID, como la temperatura y el voltaje total, se puede recuperar externamente mediante RS232 o USB.

- [HORNO DE COLUMNA ECO2080 CON CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN](#)

Este horno de columna permite una estabilización precisa de la temperatura en el rango de 0 a 80 ° C. Una gran cámara de compartimentos puede acomodar hasta 3 columnas con una longitud de hasta 25 cm.

La tecnología Peltier ofrece la posibilidad de calentar y enfriar independientemente de la temperatura ambiente.

- [BOMBA ANALÍTICA DE HPLC ECP2010H](#)

Esta bomba isocrática funciona con Gradient Box ECB2004B como bomba de gradiente cuaternaria. El rango de caudal es de 0,02 a 10 ml / min y el límite de presión es de 60 MPa, equivale a 8.702,262 psi. El software de la unidad incluye un nuevo algoritmo de aprendizaje para la supresión de pulsaciones y muchas funciones de prueba y diagnóstico.

- [CAJA GRADIENTE CON DESGASIFICADOR ECB2004B](#)

Es adecuado para manipular líquidos en sistemas de gradiente ECOM. Tiene capacidad para un recipiente para botellas de disolvente, desgaseificador de vacío de alta eficiencia incorporado y válvula de gradiente de cuatro vías. Se pueden desgaseificar hasta cuatro líneas de disolvente simultáneamente por una unidad. La válvula de gradiente de cuatro vías se controla desde la bomba ECP2010.

- [AUTOSAMPLER L-3320H](#)

Muestreador automático que garantiza una excelente precisión y linealidad de la inyección de la muestra. Contaminación de residuos de muestra muy baja, el modo de recogida de µl logra una pérdida de muestra cero.

Autocomprobación automatizada. La válvula Rheodyne asegura un funcionamiento confiable.

- [CLARITY CHROMATOGRAPHY SOFTWARE](#)

Este sistema está totalmente controlado por el software Clarity Chromatography. El software Clarity cumple con requisitos CFR21GLP.

Certificado de Calibración

CVVLM0029-071317

1.- SOLICITANTE

Expediente : 19200

Razón social : Instituto Tecnológico de la Producción

Dirección : Ciudad Majes módulo B, sector 1, manzana A-3, lote 1 Pedregal

Este certificado de calibración Documenta la trazabilidad a los Patrones Nacionales (INACAL) e Internacionales.

CyVlab cuenta con patrones trazables a Instituto Nacional de Calidad así como a Laboratorios Internacionales; custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones y certificaciones metrologicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:

CROMATOGRAFO HPLC-IR

Marca : ECOM **Rango :** 0,02 – 10 ml / min
Modelo : ECS05
N° de Serie : KJ240208096 **Resolución :** 60 MPa / 8.702,262 psi
Código : JK-OPE-18 **Procedencia :** República Checa

3.- METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó tomando como referencia el:

CALIBRATION PROCEDURE" del Network of European Measuring Institutes

Análisis Cromatográfico: Comparación directa usando cámaras curvas de calibración conocidas

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

- * El instrumento fue calibrado el 02/03/2020
- * La calibración se realizó en el laboratorio de CyVlab

5.- PATRONES DE REFERENCIA

N° de Certificado	Equipo	Marca	Modelo	Número de Serie
LT-163-2020	Cromatografo HPLC-IR	Ecom	ECS05	KJ240208096

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

	Temperatura	Humedad Relativa	Presión Atmosférica
INICIO	20,8 °C	74,3 %	1000 mbar
TERMINO	19,8 °C	74,6 %	1000,2 mbar

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones.
Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología CYVLAB
Certificado sin firma y sello carecen de validez.

Sello



Técnico Metrologo

Roger Chavez Figueroa

Jefe de laboratorio

Juan Arribasplata Huaman

FGC-088/Dic2020/Rev.00

Pág. 1 de 2

Av. La Marina 365 Urb. Benjamin Doig Lossio - La Perla - Callao
Telf. (01) 431-4591 RPC: 949264358 / 987289637 / E-mail: info@cyvlab.com / www.cyvlab.com

0591

**DIGESTOR KJEDAH, 6 POSICIONES 42 MM TUBOS CON 250 ML VELP
SCINTIFIC DK6**



Marca: VELP Scientific/ Modelo: DK 6

F30100182

Procedencia: Italia

El bloque de calentamiento de aluminio duradero y sin mantenimiento ofrece homogeneidad en todos los tubos y asegura una digestión completa de Kjeldahl en cada tubo. La temperatura máxima de 450 °C lo que asegura una alta recuperación de nitrógeno en el proceso.

Características:

- ✓ Extremadamente compacto, con huella estrecha.
- ✓ Bloque calefactor de aluminio para una excelente homogeneidad térmica.
- ✓ Establecer temperatura y tiempo.
- ✓ Temperatura máxima 450 °C, con control por microprocesador.
- ✓ Monitorea el proceso de digestión a través de la pantalla.
- ✓ Los datos se pueden enviar a una PC o una impresora.
- ✓ Debe combinarse con una bomba de aspiración como la bomba de recirculación de agua JP y un depurador de SMS.

- ✓ 6 posiciones para tubos de 250 ml de 42 mm de diámetro, incluye bloque calefactor de aluminio, requiere sistema de soporte (para DK 6, DK 20/26, DK 6/48), tapa de succión para DK 6, tubos de ensayo (42 mm Ø × 300 mm) y rack de muestras para DK 6 con pantallas térmicas, 230 V, 50-60 Hz.

Especificaciones:

- ✓ Rango de temperatura, desde ambiente: 450°C
- ✓ Rampas seleccionables por programa: 4 4
- ✓ Calibración de temperatura: Automático
- ✓ Estabilidad de la temperatura del bloque de calentamiento: (°C) ± 0.5
- ✓ Precisión de la temperatura del bloque de calentamiento: (°C) ± 0.5
- ✓ Rango de tiempo de digestión: 1 – 999 m
- ✓ Pasos de selección de tiempo: 1 m
- ✓ Posiciones: 6
- ✓ Volumen del tubo de ensayo: 250 ml
- ✓ Diámetro del tubo de ensayo: 42 mm
- ✓ Poder: 1100 W
- ✓ Peso: 16,2 kg
- ✓ Dimensiones del bloque: W × D × H (mm): 293 × 339 × 152
- ✓ Dimensiones con sistema de soporte: W × D × H (mm): 295 × 546 × 462