

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Proyectos de Inversión



**EVALUACIÓN DEL USO DE TORREFACCIÓN EN EL
PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS DE PODA DE UVA, PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA REGIÓN AREQUIPA 2018**

Tesis presentada por la Bachiller:

Díaz Vento, Ingrid Mirna

Para optar el Grado Académico de:

Maestro en Proyectos de Inversión

Asesor:

Dr. Jiménez Pacheco, Hugo Guillermo

Arequipa – Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 05 de Noviembre del 2021

Dictamen: 004823-C-EPG-2021

Visto el borrador del expediente 004823, presentado por:

2017007702 - DIAZ VENTO INGRIND MIRNA

Titulado:

**EVALUACION DEL USO DE TORREFACCION EN EL PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS DE PODA
DE UVA, PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN LA REGION AREQUIPA 2018**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**5661 - DELGADO NIETO JOHN ALEX
DICTAMINADOR**



**6096 - BEJAR ZEA EDWIN VICTOR
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

Gracias a DIOS,

Por haberme dado la vida, la salud y la oportunidad para lograr uno de mis grandes sueños este grado académico.

Gracias a mi Hijos

Quienes son mi mayor éxito Valerie y André, fueron mi motor e impulso para continuar y culminar con este proyecto

Gracias a mis Padres

A mi papá que me inculco valores para ser una buena persona, a mi mamá que fue la persona a quien le debo todo lo que soy que es la estrella que me guía desde el cielo dándome la fuerza necesaria y la sabiduría para seguir siempre adelante.

Gracias a mis Hermanos,

Por apoyarme con sus consejos y ejemplo en especial a mi hermano Willy que me enseñó a luchar por la vida hasta el último segundo y hoy me cuida desde el cielo.

Infinitas gracias

Ingrind

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Esta investigación fue parcialmente apoyada por una subvención del Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú; financiado por Proyectos de Investigación Estratégica Agraria Fondo Concursable PNIA, contrato N° 026-2015-IE: **“Proyecto Biometrans;”** conducido a través del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa Perú.

Mi agradecimiento al **Doctor Hugo Guillermo Jiménez Pacheco** por su asesoría, tiempo y dedicación en la consolidación de esta investigación.



ÍNDICE

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCION	xv
HIPÓTESIS.....	xvii
OBJETIVOS	xvii
1. OBJETIVO GENERAL.....	xvii
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xvii
CAPITULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 TORREFACIÓN	1
1.1.2 RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS	2
1.1.3 RESIDUOS AGRICOLAS.....	4
1.1.4 BIOGAS	5
1.1.5 SUSTRATOS USADOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGAS	6
1.1.6 SUSTRATOS AGRÍCOLAS	6
1.1.6.1 BOSTA	6
1.1.6.2 CULTIVOS ENERGÉTICOS	7
• MAÍZ.....	7
• ENSILAJE DEL CULTIVO ÍNTEGRO DE CEREALES (WCC)	7
• ENSILAJE DE PASTO.....	8
• GRANOS DE CEREALES.....	8
• REMOLACHA	8
1.1.7 SUSTRATOS DE LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO AGRÍCOLA	9

• PRODUCCIÓN DE CERVEZA	9
• PRODUCCIÓN DE ALCOHOL	10
• PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	10
• PROCESAMIENTO DE PAPA (PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN)....	10
• PRODUCCIÓN DE AZÚCAR.....	11
• SUB-PRODUCTOS PROVENIENTES DEL PROCESAMIENTO DE LAS FRUTAS	11
1.1.8 LOS BIOCOMBUSTIBLES	12
1.1.8.1 EL BIOETANOL.....	12
1.1.8.2 EL BIODIESEL	13
1.1.9 BIOMASA.....	14
1.2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	15
1.2.1 ANTECEDENTES	15
1.2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
CAPITULO II	24
2. METODOLOGIA.....	24
2.1 UBICACIÓN.....	24
2.1.1 UBICACIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL.	24
2.1.2 UBICACIÓN ESPACIAL.....	24
2.1.3 UBICACIÓN TEMPORAL	25
2.2 MATERIALES, TÉCNICAS Y INSTRUMENTOS DE VERIFICACION.....	25
2.2.1 MATERIALES DE CAMPO	25
2.2.2 MATERIALES DE LABORATORIO.....	25
2.2.3 EQUIPOS Y ACCESORIOS	25
2.2.4 UNIDADES DE ESTUDIO	26
2.2.5 TÉCNICAS.....	27

2.2.6	INSTRUMENTO	28
2.3	MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL	31
2.3.1	RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	31
2.3.2	SELECCIÓN DE LA BIOMASA	31
2.3.3	PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA EN LABORATORIO	32
2.3.4	TRATAMIENTOS DE RESIDUOS DE PODA DE UVA CON PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN	33
2.3.5	RENDIMIENTO MASICO DEL MATERIAL TORREFACTADO	36
2.3.6	PROCESO DE MOLIENDA	38
2.3.7	EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DEL BIOGÁS PRODUCIDO EN LAS DIFERENTES TEMPERATURAS Y TIEMPOS DEL PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN.	39
2.3.8	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS.....	44
2.4	EVALUACIÓN DEL COSTO DE PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (S/NM3 DE BIOGÁS) CON RESIDUOS DE UVA PRETRATADOS POR TORREFACCIÓN.....	46
CAPITULO III.....		47
3.	RESULTADOS Y DISCUSION	47
3.1	EVALUACIÓN DE LOS FACTORES TEMPERATURA Y TIEMPO DE TORREFACCIÓN COMO PRETRATAMIENTO EN RESIDUOS DE PODA DE UVA.....	47
3.3	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BIOGÁS.....	57
3.4	EVALUAR EL COSTO DEL PROCESO DE LA PRODUCCION DE BIOGAS (S/Nm3 DE BIOGAS CON RESIDUOS DE UVA PRETRATADOS POR TORREFACCION	64
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES		70

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	71
ANEXOS	79



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tratamientos.....	26
Tabla 2.	Unidades experimentales.....	26
Tabla 3.	Equivalencia de litros a kilos gas LP.....	46
Tabla 4.	Análisis de varianza para peso obtenido luego del proceso de torrefacción	47
Tabla 5.	Optimización para peso biomasa torrefactada.....	49
Tabla 6.	Comparaciones múltiples para peso biomasa torrefactada.....	49
Tabla 7.	Factores para el análisis de medidas repetidas en la evaluación de producción de volumen de biogás (ml _N).....	51
Tabla 8.	Análisis de efectos intrasujeto para el volumen de biogás producido	52
Tabla 9.	Análisis de efectos Inter sujeto para el volumen de biogás producido	53
Tabla 10.	Evaluación de la calidad de biogás.....	57
Tabla 11.	Análisis de varianza para metano (CH ₄) producido	58
Tabla 12.	Análisis de varianza para oxígeno (O ₂) producido.....	58
Tabla 13.	Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO ₂) producido	59
Tabla 14.	Análisis de varianza para H ₂ S producido	61
Tabla 15.	Costo de la torrefacción por tratamiento y por tonelada	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Horno mufla.....	28
Figura 2.	Baño maría.....	29
Figura 3.	Balanza analítica.....	29
Figura 4.	Analizador de biogás	30
Figura 5.	Analizador de biogás	30
Figura 6.	Residuos de poda de uva.	31
Figura 7.	Cortado de los residuos de poda de uva.	31
Figura 8.	Pesado de los residuos de poda de uva.....	32
Figura 9.	Residuos de poda de uva sin pretratamiento	33
Figura 10.	Residuos de poda de uva para ser torrefactados	33
Figura 11.	Biomasa torrefactada 280°C a 80' (T1t1).....	33
Figura 12.	Biomasa torrefactada 280°C 60' (T1t2)	34
Figura 13.	Biomasa torrefactada 280°C 40' (T1t3)	34
Figura 14.	Biomasa torrefactada 260°C 80' (T2t1)	34
Figura 15.	Biomasa torrefactada 260°C 60' (T2t2)	35
Figura 16.	Biomasa torrefactada 260°C 40' (T2t3)	35
Figura 17.	Biomasa torrefactada 240°C 80' (T3 t1)	35
Figura 18.	Biomasa torrefactada 240°C 60' (T3t2)	36
Figura 19.	Biomasa torrefactada 240°C 40' (T3t3)	36
Figura 20.	Rendimiento masico después de la torrefacción.....	37
Figura 21.	Tratamientos torrefactados y pesados.....	37
Figura 22.	Proceso de molienda de biomasa torrefactada.....	38
Figura 23.	Biomasa de residuos de poda de uva torrefactados y molidos.	38
Figura 24.	Envases para el proceso de producción de biogás.	39
Figura 25.	Pesado de la biomasa torrefactada para la mezcla.....	40
Figura 26.	Pesado del estiércol o inóculo para la mezcla.....	40

Figura 27.	Cargado de la biomasa torrefactada.....	41
Figura 28.	Cargado del estiércol o inóculo.	41
Figura 29.	Cargado de los tratamientos con sus repeticiones.	42
Figura 30.	Cargado de los tratamientos con sus repeticiones.	42
Figura 31.	Proceso de biodigestión en baño maría a temperatura de 37°C.....	43
Figura 32.	Proceso de producción de biogás.....	43
Figura 33.	Evaluación de producción de biogás.	44
Figura 34.	Analizador de biogás para medir la calidad.....	44
Figura 35.	Corte del microtubo para la medición de biogás.	45
Figura 36.	Registro de la medida de la calidad del biogás con el analizador...45	
Figura 37.	Grafica de efectos principales para peso obtenido luego del proceso de torrefacción.....	48
Figura 38.	Superficie de respuesta y contornos para peso biomasa torrefactada	48
Figura 39.	Gráfico de perfiles para volumen de biogás (mlN). En A) Producción con el factor tiempo y en B) producción con factor temperatura.....	54
Figura 40.	Volumen de biogás total (mlN)	55
Figura 41.	Grafica de efectos principales para %CO ₂	59
Figura 42.	Superficie de respuesta y contornos para % de CO ₂	60
Figura 43.	Gráfica de efectos principales para %H ₂ S	62
Figura 44.	Superficie de respuesta y contornos para % de H ₂ S	63

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Operacionalización de las variables.	79
Anexo 2.	Volumen de gas seco normalizado (mlN)	80
Anexo 3.	Pruebas de efectos dentro de sujetos	81
Anexo 4.	Análisis físico químico de los residuos de poda de uva y del estiércol fresco de vacuno.....	83
Anexo 5.	Datos de presión atmosférica diaria de los meses de marzo y abril de 2019 de las estaciones del Pedregal y la Pampilla.	84
Anexo 6.	Datos de presión atmosférica diaria de los meses de marzo y abril de 2019 de las estaciones del Pedregal y la Pampilla.	85

LISTA DE ABREVIATURAS

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de carbono

Ppm: Partes por millón

mg/l: miligramos por litro

g: gramo

mg: miligramo

ha: hectárea

Kg: Kilogramo

M³: metro cubico

Nm³: metro cubico normal de biogás o gas

Nml: mililitro normal de biogás o gas

RESUMEN

La seguridad de energía y el consumo excesivo de combustibles de origen fósil, el incremento de contaminantes y el cambio climático nos hacen buscar nuevas fuentes de energía, la biomasa de origen lignocelulósico de residuos de poda de uva surge como una alternativa debido a que se encuentra en abundancia.

El proyecto de investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María en los meses julio del 2018 hasta abril del 2019. El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el efecto del pretratamiento de torrefacción en los residuos de poda de uva pero debemos mencionar que esta biomasa tiene características como elevado contenido de humedad, biodegradabilidad, baja friabilidad y pobre densidad energética los cuales limitan su competitividad con otros combustibles.

Una alternativa viable para eliminar estas características es la torrefacción que es un pretratamiento termoquímico que se da entre 200°C a 300°C de temperatura donde se elimina la humedad y la destrucción térmica de la lignina a diferentes tiempos 40 minutos 60 minutos y 80 minutos y a diferentes temperaturas 240°C, 260°C y 280°C este proceso se basa en utilizar la temperatura y el tiempo para descomponer la estructura de la biomasa para facilitar su digestión luego fueron pesados y pasaron al proceso de molienda para luego ser mezclados con estiércol de vacuno para poder hacer uso de este material para pasar por un proceso de digestión anaeróbica para la producción de biogás.

Para la obtención de resultados se utilizó un torrefactor (mufla) a fin determinar los efectos de la temperatura y el tiempo sobre los residuos de poda de uva luego se evaluó la producción de biogás de los residuos pretratados. Cuyo enriquecimiento de este producto por los diferentes procesos, tales como pretratamiento termoquímico, hidrocrackeo, hidrotratamiento, esterificación, emulsificación y pirolisis catalítica. Cuyos productos finales pueden convertirse en un sustituto de los recursos energéticos convencionales disponibles.

Palabras clave: Torrefacción, residuos de uva, estiércol de vacuno, biogás, digestión anaeróbica, lignina.

ABSTRACT

The security of energy and the excessive consumption of fossil fuels, the increase in pollutants and climate change make us look for new sources of energy, the biomass of lignocellulosic origin from grape pruning residues appears as an alternative because it is galore.

The research project was carried out in the laboratories of the Catholic University of Santa María from July 2018 to April 2019. The objective of this research work was to determine the effect of roasting pretreatment on grape pruning residues, but we must mention that this biomass has characteristics such as high moisture content, biodegradability, low friability, and poor energy density, which limit its competitiveness with other fuels.

A viable alternative to eliminate these characteristics is torrefaction, which is a thermochemical pretreatment that occurs between 200 ° C and 300 ° C where moisture and the thermal destruction of lignin are eliminated at different times 40 minutes, 60 minutes and 80 minutes. and at different temperatures 240 ° C, 260 ° C and 280 ° C, this process is based on using temperature and time to decompose the structure of the biomass to facilitate its digestion, then they were weighed and passed to the grinding process to later be mixed with Beef manure to be able to make use of this material to go through an anaerobic digestion process for the production of biogas.

To obtain results, a roaster (muffle) was used to determine the effects of temperature and time on the grape pruning residues, then the biogas production of the pretreated residues was evaluated. Whose enrichment of this product by the different processes, such as thermochemical pretreatment, hydrocracking, hydrotreating, esterification, emulsification, and catalytic pyrolysis. Whose end products can become a substitute for available conventional energy resources.

Keywords: Roasting, grape residues, cattle manure, biogas, anaerobic digestion, lignin.

INTRODUCCION

En el Perú hay escasa producción de biogás a pesar de contar con una gran cantidad de subproductos orgánicos que puedan ser procesados para la producción de biogás y reducir la utilización de combustibles fósiles para lograr un futuro sostenible. La producción de residuos como biomasa agrícolas que no son utilizadas y son desechadas por considerarlas no útiles vienen siendo quemadas y perdiéndose una gran cantidad de material que puede ser utilizado como energía, viene ocasionando graves daños al planeta.

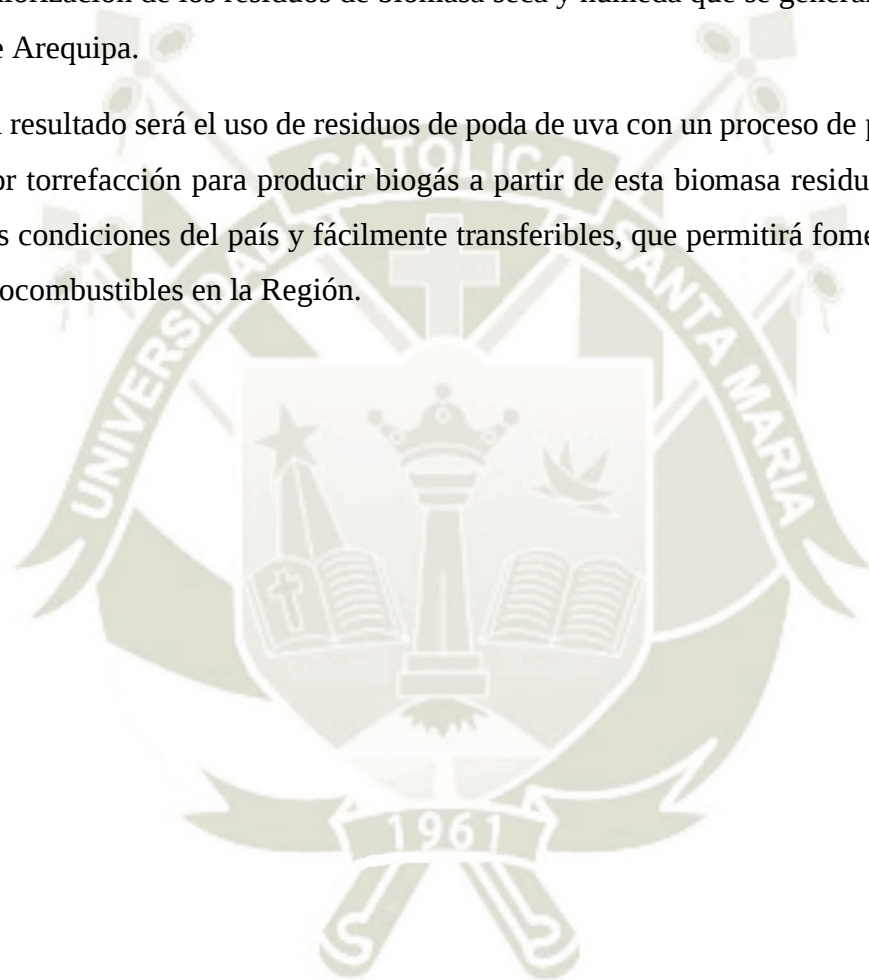
El interés de fomentar la transferencia de conocimientos tecnológicos para lograr con esta investigación centrarse en la optimización del proceso de residuos para el uso de energías renovables que puede ser una posibilidad para luchar contra el cambio climático, coincidiendo con que Panwar y Kothari en el 2012 manifiesta que la biomasa almacena energía solar en forma química y es el recurso más valioso y versátil del planeta. La biomasa, a diferencia de los combustibles fósiles, es un recurso energético renovable que está disponible donde las condiciones climáticas son favorables para el crecimiento y la producción de las plantas. (Panwar, Kothari, & Tyagi, 2012)

Bridgeman en 2008 manifiesta que la torrefacción es un tratamiento que sirve para mejorar las propiedades de la biomasa en relación con las técnicas de procesamiento termoquímico para la generación de energía; por ejemplo, combustión, combustión con carbón o gasificación. El tema ha ganado interés en las últimas dos décadas, pero se requiere una mayor comprensión para optimizar el proceso y así mejorar la eficiencia económica, que es crucial para el éxito del tratamiento comercialmente y dentro de la industria. (Bridgeman, Jones, Shield, & Williams, 2008)

La torrefacción de residuos de podas de frutales se considera como una alternativa para la producción de aplicación bioenergética, en el proceso de torrefacción la biomasa se calienta, en ausencia de oxígeno a temperaturas de 240 – 320 °C los residuos de poda de uva son abundantes en la región de Arequipa, se tiene una importante producción del cultivo de uva, la cual produce por cada planta como biomasa de residuos 2 kg de residuos cada año, por hectárea aproximadamente 2 toneladas de residuos cuando se realiza la labor cultural denominada poda.

En la investigación se evaluó el uso del pretratamiento de torrefacción en residuos de poda de uva para la producción de biogás a diferentes temperaturas y tiempos como técnica innovadora que permitirá el uso de la biomasa torrefactada y la adecuación de esta para su tratamiento por digestión anaeróbica, luego se usó la tecnología de refinado para la producción de biogás. Con esta investigación se busca fomentar la valorización de los residuos de biomasa seca y húmeda que se generan en la Región de Arequipa.

El resultado será el uso de residuos de poda de uva con un proceso de pretratamiento por torrefacción para producir biogás a partir de esta biomasa residual, adaptado a las condiciones del país y fácilmente transferibles, que permitirá fomentar el uso de biocombustibles en la Región.



HIPÓTESIS

Dado el uso de Torrefacción como tecnología de pretratamiento en residuos de poda de uva, es probable el uso de los residuos pretratados en la producción de biogás en la Región Arequipa 2018.

OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de torrefacción en el pretratamiento de residuos de poda de uva para la producción de biogás en la Región Arequipa 2018.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los factores temperatura (240, 260, 280 °C) y tiempo de torrefacción (40,60 y 80minutos) como pretratamiento en residuos de poda de uva.
- Evaluar el volumen de biogás (mlN) producido en las diferentes temperaturas y tiempos del pretratamiento de torrefacción.
- Evaluar la calidad de biogás, Metano (CH₄) y Dióxido de carbono (CO₂) en porcentaje.
- Evaluar el costo de proceso de la producción de biogás (S/mlN de biogás) con residuos de uva pretratados por torrefacción.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 TORREFACCIÓN

La torrefacción es un procedimiento térmico que se le da a cualquier producto con baja actividad del agua (baja humedad), en atmósfera baja en oxígeno, como es el caso del café, del cacao, del té, y de la que está más en boga, la biomasa. En caso de alta actividad de agua el proceso se denomina "asado".

El principio de la torrefacción, para liberar los aromas de los alimentos (reacciones de Maillard) es conocido desde hace más de 5 siglos. En el caso de la biomasa el concepto es mucho más reciente y la finalidad del tratamiento no es el mismo. De hecho, el objetivo no es la liberación de aromas, sino la degradación de las fibras contenidas en la biomasa. Un producto que ha sido sometido al proceso de torrefacción se denomina torrefacto.

La Torrefacción es un tratamiento termoquímico de la biomasa que se produce a temperaturas de entre 200 y 300°C en ausencia de O₂ que produce cambios beneficiosos en la composición de la biomasa: reducción del contenido en fibras, aumento del poder calorífico y resistencia a la degradación. Este tratamiento puede aplicarse a un amplio rango de materiales orgánicos y generar ventajas en su conservación y propiedades para usos tanto energéticos como en aplicaciones en nuevos materiales. (CENER, 2011)

La torrefacción es un método para el mejoramiento de las propiedades de la biomasa como combustible. Consiste en un calentamiento lento de la biomasa en una atmósfera inerte a una temperatura máxima de 300 °C (Tito Ferro, Beatón Soler, & Zanzi, 2009).

1.1.2 RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS

Los residuos lignocelulósicos se encuentran en la biomasa vegetal y permiten la obtención de productos sustentables y no contaminantes del medio ambiente, entre los que destaca el etanol. El material lignocelulósico está conformado sobre todo por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya interrelación es compleja y tiene variaciones de acuerdo con el recurso lignocelulósico de que se trate. La celulosa y la lignina son componentes importantes porque de ellos pueden obtenerse productos diversos. De la primera es posible adquirir azúcares que servirían en la generación de biocombustibles, entre ellos el etanol; de la segunda, sustancias para las industrias Farmacéutica y de compuestos aromáticos. (Olmedo, 2010)

Un estudio compara el consumo de energía del ciclo de vida y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la generación de electricidad a partir de biocarbón producidos a partir de diversas materias primas de biomasa a través de los procesos de torrefacción seca (DT) y torrefacción húmeda (WT). La paja de trigo, las virutas de madera de pino, el orujo de uva, el estiércol y las algas son las principales materias primas evaluadas. Se calculó el consumo de energía y las emisiones de GEI asociadas en cada etapa del ciclo de vida. (Akbari, OlajireOyedun, Gemechu, & Kumar, 2021)

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas.

De los principales componentes de los materiales lignocelulósicos, La celulosa es uno del biopolímero más abundante en la naturaleza y su biosíntesis, química y su estructura aún permanecen activos como campo de investigación. Tal es el caso que en las últimas décadas ha habido un creciente interés por desarrollar proyectos sostenibles basados en la química verde, lo que ha conducido a la generación de materiales celulósicos novedosos y materiales compuestos que incluyen materiales celulósicos y whiskeres de

celulosa, así como también, la generación de energía por medio de la obtención del bioetanol, bioaceites o el uso integral del material lignocelulósico. Además, después de la celulosa, la lignina es la segunda fuente renovable más abundante que existe en la naturaleza y es por esta razón que se han desarrollado usos alternativos para aprovechar este subproducto agroindustrial, tal como la generación de fibras de carbón para la industria de los materiales compuestos. (Alvarez–Castillo, Salgado–Delgado, García–Hernández, & Domínguez, 2012)

El material lignocelulósico consiste en tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa está compuesta por subunidades de D-glucosa unidas por un enlace glucosídico β 1-4. La celulosa en una planta se compone de piezas con una estructura cristalina. Las capas de celulosa se juntan y forman las llamadas brillas de celulosa o paquetes de celulosa, estas brillas de celulosa son en su mayoría independientes y débilmente unidos a través de enlaces de hidrógeno. La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consiste en polímeros de diferentes azúcares como xilosa y arabinosa (pentosas), manosa, glucosa y galactosa (hexosas) y ácidos de azúcar. El componente dominante de la hemicelulosa de la madera y plantas agrícolas es el xilano. La hemicelulosa tiene un peso molecular más bajo que la celulosa, y con cadenas laterales cortas que constan de diferentes polímeros de azúcares, fáciles de hidrolizar. La hemicelulosa sirve como una conexión entre la lignina y las de celulosa y le da al conjunto de celulosa-hemicelulosa lignina rigidez. La lignina es, después de la celulosa y la hemicelulosa, uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y está presente en la pared celular. El objetivo principal de la lignina es dar a la planta el soporte estructural, impermeabilidad, y la resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. Es insoluble en agua y se considera ópticamente inactiva, todo esto hace que la degradación de la lignina sea muy difícil. Debido a la composición del material lignocelulósico la hidrólisis enzimática de esta biomasa es elevadamente limitada debido a varios factores. Diferentes investigadores concluyen que la cristalinidad de la celulosa es sólo uno de ellos. Otros son el grado de polimerización, contenido de humedad, la

superficie de contacto disponible y el contenido de lignina. (Cortes Ortiz, 2011)

1.1.3 RESIDUOS AGRICOLAS

Cultivos generadores de residuos Como consecuencia de la actividad agrícola, se genera una gran cantidad de residuos. Unos como raíces, hojas o frutos se descomponen y se integran en el suelo mejorando las propiedades agronómicas del suelo cultivado. Otros residuos integrados por tallos y, en general, por la parte aérea de la planta, se aprovechan en ganadería e industria. Por último, se producen unos residuos que no se aprovechan en la zona en que son generados, y que es preciso eliminar para facilitar las labores agrícolas.

- a. Cultivos de cereal grano. Los residuos que producen estos cultivos al ser cosechados son de naturaleza fibrosa como pajas o camotes. La cantidad de paja generada varía entre 1,4 y 4,3 toneladas por cada hectárea de cultivo, pero estos datos deberán reducirse en zonas donde estos residuos tienen una utilidad local con destino industrial, agrícola o ganadero.
- b. Cultivos denominados "industriales" como son fibras textiles y semillas oleaginosas que producen como residuos los tallos de naturaleza lignocelulósico. Estos residuos no tienen ningún aprovechamiento y es preciso eliminarlos generalmente por medio del fuego en la misma parcela. Las cantidades de residuos varían de 1 a casi 10 T por hectárea de cultivo, concretamente, de los cultivos de girasol y algodón respectivamente.
- c. Cultivos frutales, viñedo y platanera. La poda anual es una exigencia para el cultivo y, por otra parte, constituye una fuente de material combustible de elevado poder calorífico. Los valores medios anuales utilizados, varían de 1'7 t por hectárea en los cultivos de melocotón a 2 t/Ha en olivo, 5'33 en manzano y cifras mayores en algunas zonas vitícolas. (Cuadros, 2008)

1.1.4 BIOGAS

La importancia de la energía del biogás ha aumentado y se ha universalizado. Esto se debe a la constatación de que la captura y utilización de biogás tiene un gran potencial para controlar el calentamiento global. Al capturar biogás donde quiera que se forme, no solo aprovechamos una fuente de energía limpia, sino que también evitamos el escape de metano a la atmósfera. Dado que el metano tiene un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO₂, la captura de metano a través de la energía del biogás de esta manera puede contribuir sustancialmente al control del calentamiento global. (Tauseef, Abbasi, & Abbasi, 2011)

Para la obtención de biogás se puede utilizar como materia prima los excrementos animales, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal. Esta técnica permite resolver parcialmente la demanda de energía en zonas rurales, reduce la deforestación debida a la tala de árboles para leña, permite reciclar los desechos de la actividad agropecuaria y, es un recurso energético “limpio” y renovable.

La tecnología del biogás no es única en su diseño y escala, desde pequeños digestores domésticos, plantas medianas que utilizan residuos agrícolas o de tratamiento de aguas residuales, hasta grandes instalaciones centralizadas de codigestión. Estas plantas generalmente operan utilizando materias primas fermentables disponibles localmente para minimizar los costos de transporte. Los sustratos de biogás más comunes incluyen lodo animal, lodo de alcantarillado, residuos agrícolas y de procesamiento de alimentos y basura doméstica. (Deublein & Steinhauser, 2008)

El biogás que se desprende de los tanques o digestores es rico en metano que puede ser empleado para generar energía eléctrica o mecánica mediante su combustión, sea en plantas industriales o para uso doméstico. La primera instalación doméstica para producir biogás se habría construido en la India alrededor del 1900. Actualmente funcionarían en ese país alrededor de 200 mil biodigestores, y en China alrededor de 6 millones. Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven

para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado. Debido al gran volumen de materia orgánica que necesitan para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizantes que se obtiene, se diseñan con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón. El biogás se obtiene por descomposición de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y a través de la acción de cuatro tipos de bacterias:

- Las hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos mono-carbonados, ácidos grasos y otros compuestos policarbonados,
- Las acetogénicas, productoras de hidrógeno.
- Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos carbonados en ácido acético,
- Las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás. (Lede , 2010)

1.1.5 SUSTRATOS USADOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Existen una serie de sustratos que pueden ser usados fundamentalmente en la generación de biogás, estos van desde sustratos agrícolas, productos y subproductos de las industrias.

1.1.6 SUSTRATOS AGRÍCOLAS

1.1.6.1 BOSTA

Estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico, como por ejemplo excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja.

Los excrementos de vaca han tenido en muchas culturas un uso diferente al común en occidente, en lugar de ser devuelto a la tierra en forma de abono o directamente desechado, la ausencia de otros recursos

y las excelentes características de este material lo han transformado en producto útil y reciclable (Andrade Mendoza, 2019).

1.1.6.2 CULTIVOS ENERGÉTICOS

Desde que se enmendó por primera vez en 2004 la Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG), se ha asignado especial importancia a los cultivos energéticos (materias primas renovables) para la generación de electricidad a partir de biogás. Los cultivos energéticos se utilizan en la mayoría de nuevas plantas de biogás (Deutsche Gesellschaft für, 2010).

- **MAÍZ**

Es el sustrato más utilizado en las plantas agrícolas de biogás en Alemania. Cuando se cosecha, se pica toda la planta de maíz y luego se almacena en silos horizontales. Luego de cargarse al silo, se compacta material picado de la planta (por ejemplo, con un cargador de ruedas o tractor agrícola) y se sella con una lámina de plástico hermética. Luego de una fase de ensilaje de aproximadamente 12 semanas, se puede utilizar el ensilaje en la planta de biogás. (Deutsche Gesellschaft für, 2010)

- **ENSILAJE DEL CULTIVO ÍNTEGRO DE CEREALES (WCC)**

Casi todos los tipos de cereales, así como las mezclas de cereales, son convenientes para producir ensilaje de cultivos íntegros de cereales, siempre y cuando los cereales maduren al mismo tiempo. Dependiendo de las condiciones locales, se debe dar preferencia a cultivar el tipo de cereal que se conoce produce el rendimiento de materia seca más alto. En la mayor

parte de lugares esto se logra con centeno, luego del cortado, se hace marchitar uno o dos días antes de picarlo y ensilarlo, y es aprovechado para generación de biogás. Inmediatamente luego de la cosecha del centeno verde se planta un cultivo sucesivo para generación de energía (sistema de dos cultivos). (Deutsche Gesellschaft für, 2010)

- **ENSILAJE DE PASTO**

Como en el caso del maíz, cultivar y cosechar pasto y utilizar ensilaje de pasto convienen para la mecanización. Se puede recoger el pasto marchito con un vagón que siega el pasto corto y se carga solo. También con las cosechadoras de pienso para el ensilaje de pasto para el uso de biogás. El ensilaje de pasto se puede hacer en tierra agrícola en uno o más años con un sistema de rotación de cultivos o con pastizales permanentes. Los rendimientos fluctúan bastante, dependiendo de la ubicación, condiciones ambientales e intensidad de uso de pastizal. (Deutsche Gesellschaft für, 2010)

- **GRANOS DE CEREALES**

Los granos de cereales son particularmente buenos para usarlos en plantas de biogás como suplemento del sustrato disponible. Gracias a sus rendimientos muy altos de biogás y a su rápida degradabilidad, los granos de cereales son especialmente útiles para el control fino de la producción de biogás. Se puede utilizar cualquier tipo de cereal. Para asegurar una digestión rápida, es importante triturar los granos de cereal antes de alimentarlos al reactor (por ejemplo, por molienda o chancado). (Deutsche Gesellschaft für, 2010)

- **REMOLACHA**

Gracias a su alta tasa de incremento de masa, la remolacha (la forrajera o la azucarera) es apropiada como cultivo energético.

En particular, la remolacha azucarera ha sido un cultivo tradicionalmente importante en algunas regiones. Debido a los pasos que se han dado para regular el mercado, la cantidad de remolacha utilizada para la producción de azúcar se ha ido reduciendo cada vez más. Como el cultivo de remolacha azucarera se basa en técnicas de producción bien conocidas y tiene varias ventajas agronómicas a su favor, se está utilizando cada vez más para la producción de biogás. (Deutsche Gesellschaft für, 2010)

1.1.7 SUSTRATOS DE LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO AGRÍCOLA

- **PRODUCCIÓN DE CERVEZA**

La elaboración de cerveza trae consigo la producción de grandes volúmenes de agua residual, aproximadamente 10 L por cada litro producido; esta agua residual contiene alta carga de materia orgánica debido a la cantidad de compuestos orgánicos empleados en su elaboración. El agua residual requiere de tratamientos para disponerlas de forma segura para el medio ambiente y aprovechar los subproductos generados. Algunos tratamientos empleados para tratar el agua residual proveniente de la producción de cerveza suelen presentar altos costos tanto de inversión inicial como de operación y mantenimiento, lo que dificulta su implementación y sostenibilidad, sin embargo los tratamientos biológicos han demostrado mejores resultados respecto a otros tipos, los cuales han sido implementados en lugares como San Carlos de Bariloche en Argentina, China, Sudáfrica, Venezuela y Colombia; en su mayoría con aplicaciones de niveles de tratamientos hasta secundario se alcanza una remoción de carga orgánica $> 75\%$. El presente artículo de revisión bibliográfica recopila los diferentes tipos de tratamientos aplicados a las aguas residuales de cervecerías, así

como ejemplos de tratamientos convencionales y avanzados, con lo que se analizan experiencias de distintas cervecías del mundo con resultados favorable. (Herrera Cuero & Bernal Suárez, 2020)

• **PRODUCCIÓN DE ALCOHOL**

El tratamiento de hidrólisis de los orujos que arrojó los mejores resultados comprendió una maceración en agua destilada a 97°C durante 1 hora con la posterior adición de 0,5 gramos de pectinasas por gramo de orujo seco y un reposo a 45°C durante 20 horas. La suspensión resultante se fermentó a 28°C empleando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* obteniendo un rendimiento en alcohol etílico de 434 litros por tonelada de orujo seco procesado. (Linares Díaz, 2018)

• **PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

El glicerol es un alcohol-azúcar que se obtiene como subproducto derivado de la producción de biodiesel. Es un líquido incoloro, inodoro, espeso y ligeramente dulce. Es un alcohol de azúcar con un alto índice de solubilidad en agua. En nuestro país, el glicerol crudo se genera a partir de cultivos como la soja y el girasol, obteniéndose como regla general, de cada 90 m³ de biodiesel, 10 litros de glicerina cruda. (Dasari, Kiatsimkul, Sutterlin, & Suppes, 2005)

Debido a la expansión de la industria del biocombustible en los últimos años, la oferta de glicerina cruda se ha incrementado y el costo se ha reducido. Dependiendo del grado de purificación, será el valor en el mercado y los 8 usos permitidos. Para alimentación animal normalmente se utiliza una purificación cercana al grado técnico (98%). De este modo, la glicerina se transforma en una fuente potencial de uso en dieta de animales. (Molini, 2020)

• **PROCESAMIENTO DE PAPA (PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN)**

En la industria nacional el proceso de transformación de la papa aporta diversos tipos de residuos, que son tomados como

desperdicio, en el marco del desarrollo industrial este subproducto ha demostrado sostenibilidad y aprovechamiento en diferentes sectores industriales, como los espesantes, aglutinantes y otros. El almidón de papa puede ser considerado un residuo agroindustrial, sin embargo, su desarrollo puede llevar a sustitutos viables en la industria alimenticia mediante procesos de transformación biotecnológica. (Rubiano Beltrán, 2020)

• **PRODUCCIÓN DE AZÚCAR**

La caña de azúcar tiende a incrementar sus demandas de producción, considerando las perspectivas macroeconómicas a nivel mundial, debido a que el mercado tiene altos requerimientos de azúcar y melaza para la producción agroindustrial. Los subproductos de la caña de azúcar han sido utilizados para la elaboración de harinas, bloques y ensilajes, lo cual abre nuevos caminos en pro de un sistema de producción sostenible y amigable con el ambiente. Además, permiten hacer a un lado la concepción que se tenía en Colombia de que los subproductos agroindustriales eran de poco valor y su obtención generaba un impacto ambiental negativo. (Lagos Burbano, 2019)

• **SUB-PRODUCTOS PROVENIENTES DEL PROCESAMIENTO DE LAS FRUTAS**

En la actualidad existe un creciente interés por mitigar el impacto ambiental que han generado los combustibles fósiles, por lo que biocombustibles como bioetanol, biodiésel y biogás han cobrado un papel relevante como alternativas derivadas de energías renovables con menor generación de emisiones atmosféricas, especialmente asociadas con el transporte. Finalmente, se establece que los biocombustibles analizados tienen un alto potencial de fabricación en Colombia, y su producción es acorde con las metas propuestas en el protocolo de Kioto. Asimismo, la producción de dichos biocombustibles a partir de residuos permite su valorización, lo que

puede generar al país un impacto positivo a nivel económico, social y ambiental. (Andrade, Corredor, Buitrago, & Lache Muñoz, 2017)

Los residuos agroindustriales presentan un alto potencial de aprovechamiento gracias a su variada composición química, y esto se ve reflejado en la diversidad de alternativas existentes para su reutilización. En base a la revisión realizada los residuos agroindustriales más utilizados en el mejoramiento de la calidad del ambiente son los provenientes del procesamiento de frutas y vegetales, la industria azucarera (bagazo de caña, cachaza, bagacillo de caña), la molinería del arroz (cascarilla de arroz), el procesamiento del café (pulpa de café) y el de maíz (zuro de maíz, rastrojo de maíz, nejayote).

Los residuos agroindustriales han sido utilizados en la producción de bioenergéticos como biodiésel, bioetanol, biogás y biomasa energética (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018).

1.1.8 LOS BIOCOMBUSTIBLES

Se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009)

Son cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa - organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos. Los Biocombustibles son combustibles producidos a partir de materias primas de origen vegetal o animal, del procesamiento de productos agroindustriales o de residuos orgánicos. (Friedmann & Penner, 2009)

1.1.8.1 EL BIOETANOL

El bioetanol es un alcohol, y se obtiene como la cerveza y otras bebidas alcohólicas. Los carbohidratos son transformados en azúcares simples, los que se convierten por fermentación en etanol, que luego es destilado en su forma final. Se produce principalmente a partir de caña de azúcar o maíz (en algunos casos mezclado con otros cereales), cuyos hidratos de carbono son fermentados a etanol por las levaduras del género *Saccharomyces*.

La caña de azúcar es la fuente más atractiva para la producción de etanol, ya que los azúcares que contiene son simples y fermentables directamente por las levaduras. El mayor inconveniente es que resulta cara como materia prima. Los cultivos como el maíz son ricos en almidón, un hidrato de carbono complejo que necesita ser primero transformado en azúcares simples. Este proceso se denomina sacarificación, e introduce un paso más en la producción, con el consecuente aumento en los costos. La producción podría realizarse a partir de desechos agrícolas, forestales, industriales o municipales. Las materias primas ricas en celulosa, como los desechos agrícolas y forestales son las más abundantes y baratas, sin embargo, la conversión de la celulosa en azúcares fermentables es un proceso complejo y costoso que hace que la obtención de etanol a partir de desechos no sea rentable, al menos por ahora. (Lede , 2010)

1.1.8.2 EL BIODIESEL

El biodiésel es un combustible alternativo similar al diésel convencional. Por lo general, se produce a partir de aceite vegetal puro, grasa animal, sebo, aceite vegetal no comestible y aceite de cocina usado. Su biodegradabilidad, no toxicidad y estar libre de azufre y aromáticos lo hace ventajoso sobre el diesel de gasolina convencional. Emite menos contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero distintos de los óxidos de nitrógeno. Además, es más seguro de manejar y tiene beneficios de lubricidad que el diesel fósil. Sin embargo, con todos estos beneficios medioambientales, el biodiésel no se podría aplicar de forma generalizada como un combustible sustituto

completo del diésel convencional. La razón principal, mencionada repetidamente por muchos investigadores, es su mayor costo de producción. (Gebremariam & Marchetti, 2018)

1.1.9 BIOMASA

La biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e inorgánica formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente, de las sustancias que constituyen los seres vivos, o sus restos y residuos.

Podemos clasificar la biomasa a partir del material empleado como fuente de energía, en:

- **Biomasa Natural:** Es la biomasa que abarca los bosques, árboles, matorrales, plantas de cultivo, etc. Por ejemplo, en las explotaciones forestales se producen una serie de residuos o subproductos, con un alto poder energético, que no sirven para la fabricación de muebles ni papel, como son las hojas y ramas pequeñas, y que se pueden aprovechar como fuente energética. Los residuos de la madera se pueden aprovechar para producir energía. De la misma manera, se pueden utilizar como combustible los restos de las industrias de transformación de la madera, como los aserraderos, carpinterías o fábricas de mueble y otros materiales más. Los “cultivos energéticos” son otra forma de biomasa consistente en cultivos o plantaciones que se hacen con fines exclusivamente energéticos, es decir, para aprovechar su contenido en energía. Con el triturado y compresión de estos residuos se crean diferentes tipos de biomasa, como por ejemplo los pellets o las briquetas.
- **Biomasa Residual** Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas como podas o aclareos (ej. sarmientos, leña), y en las actividades silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (ej. cascara de almendra, hueso de aceituna) y en la industria de transformación de la madera (ej. serrín). (TiendaBiomasa, 2018)

La biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Al romper los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión directa de biomasa o por combustión de productos obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía. La biomasa puede proporcionar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y específicamente, a todos aquellos, generalmente sólidos y gases, que se aplican con fines térmicos y eléctricos. (Romero Salvador, 2010)

1.2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.2.1 ANTECEDENTES

○ **María Curiel Fernández**

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE VID TRANSFORMADOS EN BIOCHAR.

La industria vitivinícola produce una cantidad de residuos, en lo que se refiere a restos de madera de poda y otros materiales lignificados, que requieren de una gestión para retirarlos o transformarlos de forma rápida, ya que pueden suponer una incomodidad en las parcelas a la hora de realizar las labores del viñedo y trabajos en la bodega. Todos estos restos de biomasa pueden ser transformados mediante un proceso conocido como pirolisis, que es una carbonización que se ha realizado desde antiguo en algunas zonas de cultivos en campo, pirolisis hechas con maquinaria más pequeña para poder llevarla a

cabo en la misma parcela o sistemas más complicados cerca de la bodega. Este proceso de carbonización consiste en quemar esos restos en poca presencia o ausencia de oxígeno, y transformarlos en biocarbón o biochar.

El biochar tiene diversas aplicaciones, muchas de las cuales están aún en proceso de investigación y estudio, donde se considera importante la aplicación en suelos para su mejora.

En este trabajo se van a caracterizar diferentes tipos de biochar obtenidos a través de distintos materiales considerados residuos en la industria vitivinícola, con lo que se puede realizar una gestión eficiente de los mismos y además obtener un producto con unas características determinadas que puede ser utilizado para enmiendas orgánicas y conseguir la mejora del suelo. (Fernandez, 2016)

- **Bra. Rosa Angélica Arias Ortiz, Br. Juan Daniel Meneses Cruz**

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES (CASCARILLA DE ARROZ Y CASCARILLA
DE CAFÉ), COMO MATERIA PRIMA POTENCIAL PARA LA
OBTENCIÓN DE BIOETANOL, LABORATORIOS DE QUÍMICA
UNAN-MANAGUA I-II SEMESTRE 2016

En el presente trabajo, se caracterizó física y químicamente los residuos procedentes de la agroindustria (cascarilla de arroz y cascarilla de café) como posibles potenciales productores de bioetanol, las muestras se sometieron a diferentes pruebas con el fin de conocer el porcentaje de celulosa, lignina y hemicelulosa, utilizando como referencia las normas TAPPI (Asociación Técnica de la Industria de la Celulosa y el Papel), Obteniendo que la Cascarilla de Arroz en su composición química contiene 36.03 % de Celulosa, 18.49 % de Lignina, 45.48 % de Hemicelulosa y 6.59 % Humedad; y la Cascarilla de Café en su composición química contiene:, 36.70 % de Celulosa, 15.93 % de Lignina, 47.37 % de Hemicelulosa y 8.6 % Humedad.

También se obtuvieron 5.3 mL de Bioetanol por 25 gramos de material celulósico, con las condiciones optimizadas. (Montiel & Romero, 2015)

Además, se obtuvo en el proceso de hidrólisis 3.7 g de azúcares por 25 g de material Lignocelulósico (Ortiz & Cruz, 2016).

- **Ladeira Carvalho, Ana Marcia Macedo, Cassia Oliveira Carneiro, Angélica, de Castro Freitas Pereira Matheus Perdigão**

TORREFACCIÓN DE ASTILLAS DE MADERA DE EUCALIPTO CON FINES ENERGÉTICOS.

La torrefacción también conocida como precarbonización es el tratamiento térmico a bajas temperaturas (200 ° C a 300 ° C), aplicado a materiales lignocelulósicos con el objetivo de mejorar sus propiedades energéticas. Desarrollamos este estudio para evaluar el efecto de la torrefacción temperatura en las propiedades de los chips de eucalipto. Utilizando un horno, los chips de eucalipto se sometieron a cuatro tratamientos térmicos a temperaturas de 150 ° C, 200 ° C, 250 ° C y 300 ° C, durante diez minutos. Se llevaron a cabo análisis físicos y químicos de chips torrefied e in natura. Los resultados se enviaron al análisis de varianza y cuando se establecieron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey con una significación del 95%. El aumento de la Temperatura de tostado mostró un mayor contenido de lignina y carbono fijo, menos contenido de humedad en equilibrio, mayor contenido calórico superior, menor contenido de volátiles y menor rendimiento en masa. Se recomienda asar a una temperatura de 250 ° C, ya que los chips torrefactados bajo esta condición presentaron mejores resultados, con una densidad de energía de 4.004 MJ m⁻³. (Cassia Oliveira Carneiro, Ladeira Carvalho, & Perdigão, 2016)

- **Lei Tao, Jiyu Gu, Yunwu Zheng**

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE TORREFACCIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y EL COMPORTAMIENTO DE PIRÓLISIS DE LA BIOMASA

Para mejorar las perspectivas de la utilización de biomasa de alto valor, los Pretratamiento de torrefacción se realizaron a 210, 230, 250, 270 y 300 ° C con un tiempo de reacción de 30 min. La pirolisis de biomasa torrefactada también se realizó en un sistema de reactor de lecho fijo a 450 ° C. Se estudió el efecto de la temperatura de Torrefacción sobre el rendimiento, el rendimiento energético, la estructura, las Características fisicoquímicas y la composición de producción del bioaceites. El Pretratamiento de torrefacción mejoró las características del combustible de los Productos de pirolisis. Cuando la torrefacción la temperatura se incrementó, los Contenidos de -OH y C = O disminuyeron, el contenido de C = C aumentó, la temperatura máxima de la pirolisis disminuyó, el contenido de carbono residual aumentó notablemente, y el valor de Ea permaneció en el rango de 69 a 129 kJmol⁻¹. El volumen de poro aumentó y el índice de cristalinidad disminuyó debido a la degradación y recristalización. El rendimiento sólido de la biomasa de pirolisis disminuyó bruscamente en contraste con el rendimiento líquido. Cuando la temperatura de torrefacción aumentó, el rendimiento de bio-aceite disminuyó de 36.82% en peso a 20.13% en peso. El contenido de fenol en el bio-aceite aumentó marcadamente; sin embargo, los compuestos que contienen oxígeno como los ácidos, azúcares y furanos disminuyeron significativamente, lo que indicó que la torrefacción el pretratamiento mejoró de manera eficiente la calidad del combustible. (Tao, Gu, & Zheng, 2017)

○ **Perré Patrick, Almeida Giana, Lv Pin.**

TGA-FTIR ANÁLISIS DE LA TORREFACCIÓN DE COMPONENTES LIGNOCELULÓSICOS (CELULOSA, XILANO, LIGNINA) EN CONDICIONES ISOTÉRMICAS DURANTE UN AMPLIO INTERVALO DE DURACIONES DE TIEMPO.

Este estudio investigó la descomposición química de los componentes lignocelulósicos en el curso de la torrefacción en condiciones isotérmicas por períodos de hasta 5 horas.

El objetivo era una mejor comprensión del comportamiento de la biomasa, tanto a corto como a largo tiempo de residencia, que es importante para la

innovación en las industrias químicas y de bioenergía. Se estudiaron los productos de descomposición gaseosa y en fase sólida de celulosa, xilano y dos ligninas después de la torrefacción a tres temperaturas (220, 250 y 280 ° C) para un registro continuo de la pérdida de masa y la emisión de volátiles durante 5 horas. Se revelaron dos etapas de descomposición para xilano, con una notable liberación de CO que aumentó con la temperatura de tratamiento. Las unidades 4-O-metil glucurón en las cadenas laterales de xilano se degradaron primero, y los grupos acetilo y los fragmentos de macromoléculas explicaron la segunda degradación, comenzando a 250 ° C. La producción primaria de ácido acético ocurrió a 280 ° C. Para las dos ligninas, las reacciones de descomposición predominaron a temperaturas más bajas, mientras que la reorganización prevaleció a 280 ° C. La emisión de fenol fue una clara distinción entre los dos. La celulosa era térmicamente estable en tiempos cortos bajo todos los tratamientos, pero se descompuso dramáticamente después, especialmente a 280 ° C. (Patrick, Giana, & Pin, 2015)

- **Gaitán Álvarez Johanna, Rodríguez Zúñiga Ana, Moya Rojas**
CALORIMETRÍA TERMOGRAVIMÉTRICA, TASA DE
DESVOLATILIZACIÓN Y ANÁLISIS DE BARRIDO DIFERENCIAL DE
BIOMASA DE ESPECIES DE PLANTACIONES TROPICALES DE
COSTA RICA TORREFACTADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS
Y TIEMPOS.

Evalúamos las tasas termo gravimétricas y de desvolatilización de hemicelulosa y celulosa, y el comportamiento calorimétrico de la biomasa torrefactada, de cinco especies leñosas tropicales, a tres temperaturas (TT) y tres tiempos de torrefacción (tT) usando un analizador termo gravimétrico. A través de un análisis multivariante de componentes principales (MAPC), se identificaron las condiciones de torrefacción más apropiadas para los diferentes tipos de biomasa leñosa. El análisis termo gravimétrico de termo gravimetría derivada (TGA-DTG) mostró que un mayor porcentaje del componente de hemicelulosa de la biomasa se degrada, seguido de celulosa, por lo que la energía de hemicelulosa de activación (E_a) fue menor que la de

la celulosa. Con un aumento en TT y tT, la Ea para hemicelulosa disminuyó, pero aumentó para celulosa. Los análisis calorimétricos mostraron que la hemicelulosa es el componente menos estable en la biomasa torrefacta en condiciones de torrefacción Severa, y la celulosa es más estable térmicamente en la biomasa torrefactada. A partir de los resultados de MAPC, las mejores condiciones de torrefacción para los análisis Colorimétricos fueron a 200 y 225 ° C después de 8, 10 y 12 min, para la torrefacción ligera y media, respectivamente, para las cinco especies leñosas. (Johanna, Rodriguez Zuñiga, & Moya, 2018)

- **García Dorival Pinheiro, Caraschi José Claudio, Ventorim Gustavo, Antunes Viera Fabio Henrique.**

PROPIEDADES ENERGÉTICAS COMPARATIVAS DE PELLETS TORREFACTADOS EN RELACIÓN CON PELLETS DE HIERBA DE PINO Y ELEFANTE.

La torrefacción es un proceso térmico que mejora las propiedades energéticas de los gránulos de biomasa de la planta, proporcionando una mayor eficiencia del biocombustible para las tecnologías de gasificación, así como la sustitución del carbón en las plantas termoeléctricas. En Brasil, muchos residuos agroforestales se pueden mejorar en valor a través de este proceso tecnológico, transformándolos en modernos biocombustibles sólidos. Hay pocos estudios que comparen pelotillas de madera torrefactada y de hierba elefante, especialmente en relación con sus características energéticas. Este estudio analizó el alto valor de calor, la densidad de energía, el contenido de cenizas, el carbono fijo, los materiales volátiles, la lignina, la holocelulosa, los extractivos, la densidad aparente y la durabilidad mecánica de estos gránulos. Debido a la ausencia de estándares normativos brasileños para estos pellets, se utilizó el estándar internacional ISO 17225 (2014) para las comparaciones. Los resultados revelaron diferencias sustanciales entre las muestras, principalmente con respecto a su contenido de humedad, mayor valor de calentamiento y densidad de energía en pellets torrefactados. Se concluyó que estos gránulos torrefied son biocombustibles que tienen una menor adsorción de agua, mayor valor de calentamiento y mayor densidad de

energía que los gránulos de pino y de pasto elefante. (Pinheiro, Caraschi, Ventorim, & Antunes Viera, 2018)

- **Alba Reyes Yasmani, Perez Gil Maylier, Ley Chong Néstor, Arteaga Pérez Luis Ernesto**

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TORREFACCIÓN DE MARABÚ CON FINES ENERGÉTICOS.

El uso de residuos forestales como fuente de energía es una estrategia utilizada por Países desarrollados y en vías de desarrollo, debido fundamentalmente a la disminución de las reservas de combustibles fósiles. La integración de la torrefacción y la Peletización, es una de las rutas más prometedoras para la densificación energética de biomasa lignocelulósica. El *Dichrostachys Cinerea* (marabú) es clasificado como una planta invasora que afecta grandes extensiones de superficie cultivable y por sus características, puede considerarse como una fuente renovable de energía. En el presente trabajo se tiene como objetivo diseñar y evaluar económicamente una planta para la torrefacción del marabú con fines energéticos. Los flujos relacionados con los procesos unitarios del esquema tecnológico propuesto son cuantificados mediante los balances de masa y energía, así como se determinan los parámetros principales de diseño del equipamiento para cada una de las etapas del proceso. Los resultados de la evaluación económica demuestran que la inversión es factible desde el punto de vista económico, al obtenerse una ganancia unitaria de 0,04 \$/kg validado por los indicadores dinámicos y el tiempo de recuperación de la inversión de 3,20 años. Se realiza un análisis de sensibilidad de diferentes parámetros, indicando que el precio de venta de los pelets torrefactados ejerce la mayor influencia en el Valor Actual Neto (\$ 4,94E+07). (Yasmani, Perez Gil, Ley Chong, & Arteaga Perez, 2018)

1.2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Biomasa:** es toda la materia orgánica proveniente de árboles, plantas, desechos de animales, residuos provenientes de la agricultura y los residuos urbanos, los cuales pueden ser utilizados para producir energía (García Rodríguez & Gómez Franco, 2016).
- **Celulosa** es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de β -glucosa, pues es un homopolisacárido. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. Fórmula: $(C_6H_{10}O_5)_n$, Masa molar: 324,3 g/mol, Densidad: 1,5 g/cm³ (Juárez, 2021).
- **Lignina** es una clase de polímeros orgánicos complejos que forman materiales estructurales importantes en los tejidos de soporte de plantas vasculares y de algunas algas. Fórmula: $C_9H_{10}O_2, C_{10}H_{12}O_3, C_{11}H_{14}O_4$ (Villarreal, 2019).
- **Hemicelulosa** son heteropolisacáridos, formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β , que forman una cadena lineal ramificada (Cuevas, 2016).
- **Pretratamiento** Se divide en procesos mecánicos (reducción de tamaño de fibras y partículas) y en procesos bioquímicos. La reducción del tamaño de las fibras es un proceso esencial para reducir los gastos energéticos y aumentar la accesibilidad de reactivos y enzimas. El objetivo principal de pretratamiento para la producción de biocombustibles es aumentar la porosidad de partículas de biomasa y facilitar la accesibilidad de enzimas hidrolíticas a la celulosa tras desacoplamiento de lignina y hemicelulosa de las microfibras de celulosa. (Prinsen, 2010)

- **Torrefacción:** proceso térmico que se aplica a la biomasa residual para pasar de una inestable biomasa con alto contenido de humedad y bajo poder calórico a una biomasa residual con buenas propiedades energéticas, resistente al agua, con alto contenido energético. Este proceso consiste en calentar material de biomasa, como madera, desechos y cultivos, a una temperatura de superiores a 150°C y por debajo 350°C grados centígrados en ausencia de oxígeno. (Durán Hernández & Agresott Ramírez, 2016)
- **Biodigestor:** es un biorreactor herméticamente cerrado, en estos equipos se realiza el proceso de cultivo, sea en estado sólido o líquido y su diseño debe ser tal que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema, condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y la obtención de metano como producto deseado. (Durán Hernández & Agresott Ramírez, 2016)
- **Biogás:** como un producto final de proceso de digestión anaerobia, se produce biogás, que es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), Además, también está compuesto por pequeñas cantidades de nitrógeno (N₂) hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y vapor de agua. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. (García Rodríguez & Gómez Franco, 2016)
- **Digestión anaerobia:** es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Parra Huertas, 2015).
- **Efluente:** el efluente del biodigestor es el líquido que sale al final del proceso, este líquido aun contiene materias orgánicas y nutrientes que después de ser convertidos, pueden ser utilizados como biofertilizantes (García Rodríguez & Gómez Franco, 2016).

CAPITULO II

2. METODOLOGIA

2.1 UBICACIÓN

2.1.1 UBICACIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL.

La presente investigación tuvo dos procesos:

El primer proceso torrefacción de los residuos de poda de la uva se realizó en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María en la Urbanización San José S/N Umacollo Ubicado en el distrito de Yanahuara –Arequipa.

El segundo proceso Producción de Biogás se realizó en el laboratorio de la Universidad Católica Santa María en la Urbanización San José S/N Umacollo ubicado en el distrito de Yanahuara – Arequipa

2.1.2 UBICACIÓN ESPACIAL

Las muestras fueron obtenidas del Fundo la católica ubicada en el distrito de Majes, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa; El distrito de Majes se encuentra a una altitud de 1434 m.s.n.m.

Climatología: Su temperatura promedio es de 16.1°C, (con una mínima de 8.2°C y una máxima de 24°C), con una humedad relativa menor de 70% y mayor del 40% y precipitación 0 mm

Geográficamente ubicado en:

- 16°20'08,35" Latitud Sur
- 72°09'09,56" Longitud Oeste

Fuente: SENAMHI, mapa, 805, Distrito de Majes.

2.1.3 UBICACIÓN TEMPORAL

El periodo de experimentación, tabulación y análisis de datos de la presente investigación se realizó en el periodo de Julio del 2018 a abril 2019.

2.2 MATERIALES, TÉCNICAS Y INSTRUMENTOS DE VERIFICACION

2.2.1 MATERIALES DE CAMPO

- Material lignocelulósico (residuos de poda de uva 14 Kg)
- Estiércol
- Tijeras
- Libreta de apuntes
- Lapicero
- Cámara digital

2.2.2 MATERIALES DE LABORATORIO

- Crisol
- Bandejas de metal
- Mandil
- Mascarillas
- Bolsas de polietileno
- Plumones o marcadores
- Tijeras
- Guantes de cuero
- Engrapador
- Botellas

2.2.3 EQUIPOS Y ACCESORIOS

- Balanza electrónica

- Estufa
- Torrefactor
- Biodigestor
- Medidores de humedad
- Cronometro
- Computadora
- Impresora

2.2.4 UNIDADES DE ESTUDIO

Muestras: se obtendrá 28 muestras de residuos de poda de uva de 500 gr cada una, procedencia del material del fundo la católica productora de uva, cuidadosamente embaladas y remitidas al laboratorio.

Tabla 1. Tratamientos

9 TRATAMIENTOS Y 3 REPETICIONES		
CLAVE	TEMPERATURA	TIEMPO
T1t1	280°C	80 minutos
T1t2	280°C	60 minutos
T1t3	280°C	40 minutos
T2t1	260°C	80 minutos
T2t2	260°C	60 minutos
T2t3	260°C	40 minutos
T3t1	240°C	80 minutos
T3t2	240°C	60 minutos
T3t3	240°C	40 minutos

Tabla 2. Unidades experimentales

N°	CLAVE	TEMPERATURA	TIEMPO
1	T1t1	280°C	80 minutos
2	T1t2	280°C	60 minutos
3	T1t3	280°C	40 minutos
4	T2t1	260°C	80 minutos
5	T2t2	260°C	60 minutos
6	T2t3	260°C	40 minutos
7	T3t1	240°C	80 minutos
8	T3t2	240°C	60 minutos
9	T3t3	240°C	40 minutos

10	T1t1	280°C	80 minutos
11	T1t2	280°C	60 minutos
12	T1t3	280°C	40 minutos
13	T2t1	260°C	80 minutos
14	T2t2	260°C	60 minutos
15	T2t3	260°C	40 minutos
16	T3t1	240°C	80 minutos
17	T3t2	240°C	60 minutos
18	T3t3	240°C	40 minutos
19	T1t1	280°C	80 minutos
20	T1t2	280°C	60 minutos
21	T1t3	280°C	40 minutos
22	T2t1	260°C	80 minutos
23	T2t2	260°C	60 minutos
24	T2t3	260°C	40 minutos
25	T3t1	240°C	80 minutos
26	T3t2	240°C	60 minutos
27	T3t3	240°C	40 minutos

2.2.5 TÉCNICAS

Análisis: Una muestra será utilizada para su caracterización de su composición

Pretratamiento de torrefacción: 27 nuestras de residuos de poda de uva fueron estudiadas mediante el método del pretratamiento de torrefacción cada una correspondiente a un peso de 500 g considerando diferentes temperaturas y tiempos, en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María, en un horno/mufla de temperatura máxima de 1100°C

Los resultados: obtenidos serán tabulados, analizados, interpretados y posteriormente comparados con estándares para la producción de biogás.

Producción de Biogás: Luego los residuos de uva pretratados serán utilizados para producir biogás considerando un estándar de peso para los diferentes tratamientos y repeticiones.

- Técnica Experimental y de observación en laboratorio
- Pretratamiento en Torrefactor

2.2.6 INSTRUMENTO

- **Torrefactor (Horno Mufla)**

Código: SG- TEE037

nombre en inglés (Compact muffle furnaces)

características: 230, Vac,50/60 Hz,9A,2Kw.

peso:45Kg,9L.

Temperatura: máxima 1100°C.

Categoría: procedimientos de laboratorio

fabricante /Marca: ThermConcept.

Modelo: KLE 09/11

Número de serie:1502138

Funcionabilidad del equipo: Calcinar muestras orgánicas e inorgánicas.



Figura 1. Horno mufla

- **Baño maría**

Código: SG. TEE012

Nombre en inglés: Electro Thermostatic Water Bath.

Características:220 Vac,50Hz,2000W.

Categoría: Procedimientos de laboratorio.

Fabricante/Marca: KertLab.

Modelo: CDK-S28.

Número de serie:14050476

Funcionabilidad del equipo: Conferir temperatura uniforme a una sustancia líquida o sólida para calentarla lentamente.



Figura 2. Baño maría

- **Balanza Analítica**

Código:SG-TEE009

Nombre en inglés: Analytical balance

Características: Max 220 g d:0,1 g

Categoría: Procedimientos de laboratorio

Fabricante/MARCA: Sartorius

Modelo: Entris 224-1S

N° de Serie:0036406050

Funcionalidad del equipo: Pesar cantidades muy exactas y pequeñas.



Figura 3. Balanza analítica

- **Analizador de Biogás**

Analizador portátil para biogás

Funcionalidad del equipo: Mide la composición del biogás

Metano: CH₄ 0% - 100%

Dióxido de carbono: CO₂, 0% -100%

Oxígeno: O₂ 0% - 25%

Sulfuro de Hidrogeno: H₂S 0ppm - 500 ppm

Fabricante/MARCA: Geotech



Figura 4. Analizador de biogás



Figura 5. Analizador de biogás

2.3 MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL

Se evaluó el uso del pretratamiento de torrefacción en residuos de poda de uva considerando tres temperaturas de torrefacción de 240°C, 260°C Y 280°C y se evaluó tres tiempos de torrefacción de 40 minutos, 60 minutos y 80 minutos como pretratamiento en residuos de poda de uva. Para realizar estas evaluaciones se procedió de la siguiente manera.

2.3.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Para realizar esta investigación se utilizó biomasa de origen agrícola y residual de poda de uva.



Figura 6. Residuos de poda de uva.

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 SELECCIÓN DE LA BIOMASA



Figura 7. Cortado de los residuos de poda de uva.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Pesado de los residuos de poda de uva.

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA EN LABORATORIO

La pérdida de masa es un indicador para determinar el grado de torrefacción alcanzado por el material. La reducción del peso durante el pretratamiento se quiere evaluar si está directamente ligado a la degradación térmica y al tiempo de residencia de los residuos de poda, en este trabajo se determina el rendimiento másico y energético y el grado de carbonización (análisis elemental) en el proceso de torrefacción.

Para mejorar la utilización de los residuos de poda de uva serán sometidos al pretratamiento de torrefacción a 240, 260, y 280°C con un tiempo de reacción de 40,60 y 80 minutos, se evaluará el efecto de la temperatura y tiempo de torrefacción sobre el rendimiento másico y energético.



Figura 9. Residuos de poda de uva sin pretratamiento

Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Residuos de poda de uva para ser torrefactados

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 TRATAMIENTOS DE RESIDUOS DE PODA DE UVA CON PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN



Figura 11. Biomasa torrefactada 280°C a 80' (T1t1)

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Biomasa torrefactada 280°C 60' (T1t2)

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Biomasa torrefactada 280°C 40' (T1t3)

Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Biomasa torrefactada 260°C 80' (T2t1)

Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Biomasa torrefactada 260°C 60' (T2t2)

Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Biomasa torrefactada 260°C 40' (T2t3)

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Biomasa torrefactada 240°C 80' (T3 t1)

Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Biomasa torrefactada 240°C 60' (T3t2)

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Biomasa torrefactada 240°C 40' (T3t3)

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 RENDIMIENTO MASICO DEL MATERIAL TORREFACTADO

Luego del pretratamiento de torrefacción se procedió al pesado de los 9 tratamientos con sus repeticiones a diferentes tiempos y temperaturas determinando el rendimiento masico.



Figura 20. Rendimiento masico después de la torrefacción.

Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Tratamientos torrefactados y pesados.

Fuente: Elaboración propia

2.3.6 PROCESO DE MOLIENDA

Luego se procedió a la molienda de las 27 muestras



Figura 22. Proceso de molienda de biomasa torrefactada.

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Biomasa de residuos de poda de uva torrefactados y molidos.

Fuente: Elaboración propia

2.3.7 EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DEL BIOGÁS PRODUCIDO EN LAS DIFERENTES TEMPERATURAS Y TIEMPOS DEL PRETRATAMIENTO DE TORREFACCIÓN.

Para la evaluación del volumen de biogás se procedió a preparar los envases para los 9 tratamientos y sus repeticiones haciendo un total de 27 a su vez cada unidad experimental por repetición tendrá 3 botellas que estarán unidas por un microtubo que esta sellado con un pegamento, la primera que es para la carga de la mezcla de agua estiércol y el material torrefactado, la segunda que será llenada con agua y la tercera que está vacía para recepcionar el agua que será desplazada por la producción del biogás haciendo un total de 81 botellas.



Figura 24. Envases para el proceso de producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a preparar la mezcla de 150 g de estiércol fresco más 30g de residuos de poda de uva torrefactados y molidos y se completó con 720 ml de agua haciendo un total de 900ml



Figura 25. Pesado de la biomasa torrefactada para la mezcla.

Fuente: Elaboración propia



Figura 26. Pesado del estiércol o inoculo para la mezcla.

Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Cargado de la biomasa torrefactada.

Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Cargado del estiércol o inoculo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Cargado de los tratamientos con sus repeticiones.

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Cargado de los tratamientos con sus repeticiones.

Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Proceso de biodigestión en baño maría a temperatura de 37°C.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó un baño maría a una temperatura constante de 37°C para que el material torrefactado con sus diferentes tiempos y temperaturas de torrefacción pasen un proceso de biodigestión anaeróbica que es un proceso biológico de degradación de la materia torrefactada en ausencia de oxígeno y por el proceso de la digestión se produce el biogás.



Figura 32. Proceso de producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia

Se procedió hacer las evaluaciones como se va produciendo el biogás desplazando el agua hacia la botella vacía hasta llegar a los 32 días de haberse realizado la carga en las botellas para la producción de biogás

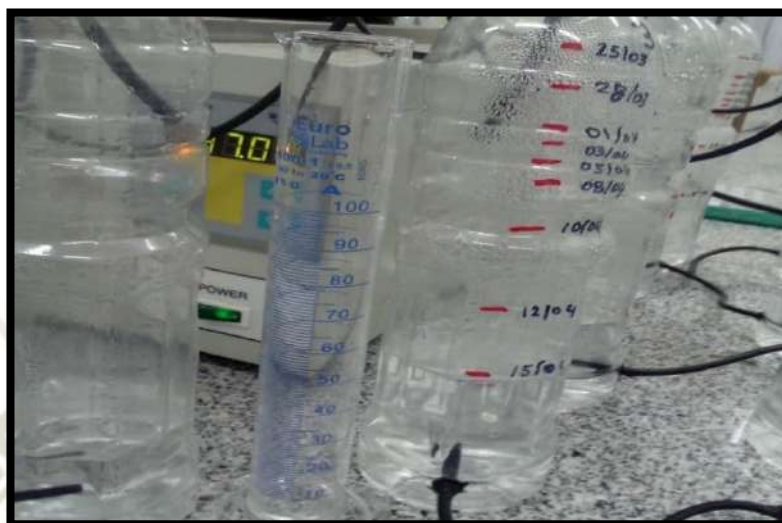


Figura 33. Evaluación de producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia

2.3.8 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOGÁS

Se evaluó la calidad de Biogás, Metano (CH_4) y Dióxido de carbono (CO_2) en porcentaje, utilizando el analizador de biogás para medir la composición de las cantidades producidas en la investigación.



Figura 34. Analizador de biogás para medir la calidad.

Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Corte del microtubo para la medición de biogás.

Fuente: Elaboración propia



Figura 36. Registro de la medida de la calidad del biogás con el analizador.

Fuente: Elaboración propia

2.4 EVALUACIÓN DEL COSTO DE PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (S/NM3 DE BIOGÁS) CON RESIDUOS DE UVA PRETRATADOS POR TORREFACCIÓN.

Costo de biogás

Se puede calcular el costo de residuos de poda de uva teniendo en cuenta los siguientes costos:

Precio de recogida: Costo de la mano de obra para agrupar el residuo de poda de uva.

Precio de carga: Costo de la mano de obra y maquinaria necesario para colocar el residuo en el medio de transporte.

Precio de transporte: Costo desplazamiento desde su punto de generación hasta su punto de aprovechamiento

Precio de tratamiento: Precio de preparación del residuo para su utilización (tritución, separación y pretratamiento) este es el más elevado debido a los costos de la tecnología que se utiliza para su tratamiento.

Costo del proceso de biogás: (S/Nm3 de biogás)

Como referencia se tiene que una garrafa de 10 kilogramos de gas licuado (butano o propano) equivale a unos 13 metros cúbicos de gas natural (metano) la diferencia en costos es de 5 veces más alto en el gas licuado. tenemos que considerar que un litro de gas equivale a 540 gr de peso y un kg de gas tiene 1.852 litros

Tabla 3. Equivalencia de litros a kilos gas LP

Capacidad cilindro o balón portátil	Litros de gas LP
10Kg	19 litros
20Kg	37 litros
30Kg	55 litros
45Kg	83 litros

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES TEMPERATURA Y TIEMPO DE TORREFACCIÓN COMO PRETRATAMIENTO EN RESIDUOS DE PODA DE UVA.

Para la evaluación de la diferencia de pesos obtenidos luego del proceso de torrefacción se realizó un Análisis de varianza mostrado en la Tabla 4, en ella se observa que el tiempo y la temperatura son estadísticamente significativos (valor- $p < 0.05$) en la disminución de peso y además que estos presentan un comportamiento cuadrático el cuál se muestra en la Figura 37, correspondiente a la gráfica de efectos principales observando la curvatura característica para los modelos cuadráticos.

Se observa a demás que el tiempo tiene un efecto positivo sobre la diferencia de peso es decir a mayor temperatura se incrementa la diferencia de peso, por el contrario, la temperatura tiene un efecto cuadrático negativo encontrando la mayor pérdida de peso en la zona central es decir alrededor de los 260°C, puesto que a 240°C o a 280°C la pérdida de peso disminuye.

Tabla 4. Análisis de varianza para peso obtenido luego del proceso de torrefacción

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-p
A: Tiempo	11755.6	1	11755.6	23.91	0.0001
B: Temperatura	2222.22	1	2222.22	4.52	0.0450
AA	2674.07	1	2674.07	5.44	0.0292
BB	10696.3	1	10696.3	21.76	0.0001
AB	133.333	1	133.33	0.26	0.6140
Error total	10814.8	22	491.582		
Total (corr.)	38163.0	26			

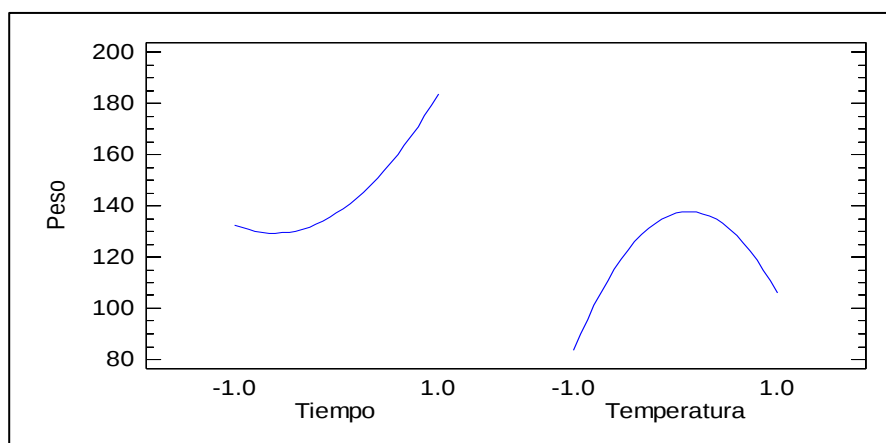


Figura 37. Grafica de efectos principales para peso obtenido luego del proceso de torrefacción

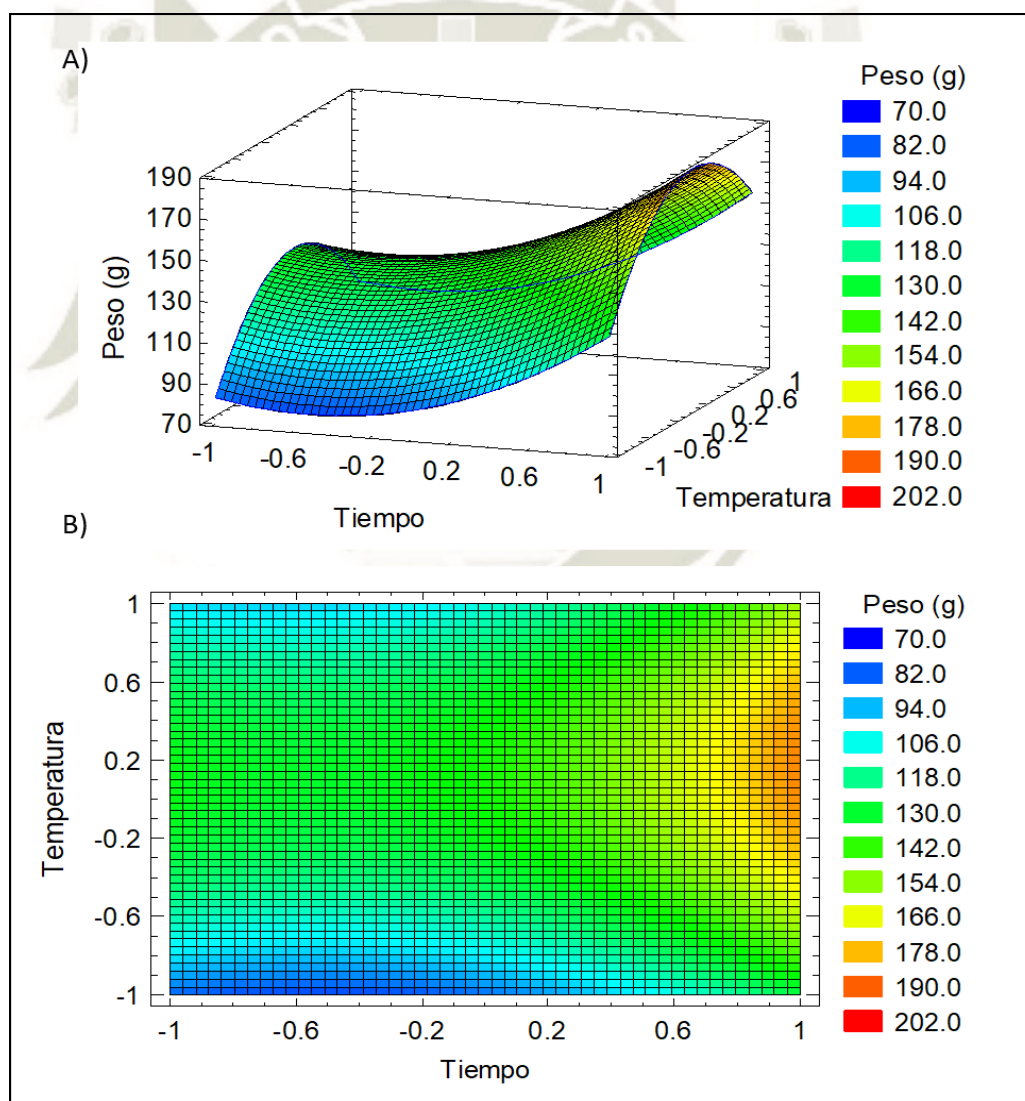


Figura 38. Superficie de respuesta y contornos para peso biomasa torrefactada

En la Figura 38, se muestra en A, la superficie de repuesta generada a partir de los valores de diferencias de peso de la biomasa luego de la torrefacción, se observa la proyección en 3 dimensiones, y y z manteniendo el perfil mencionado en la Figura 38, en B, se muestra la gráfica de contornos que es una vista superior de la superficie de respuesta la cual nos ayuda a encontrar las posibles diferencias de peso si se trabajase con otras combinaciones de temperatura y tiempo.

En un proceso de optimización se identificó que trabajando con temperaturas de 263°C y tiempo de 80 minutos se podría obtener una diferencia de peso de hasta 185 g. (Tabla 5)

Tabla 5. Optimización para peso biomasa torrefactada

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo Codificado</i>	<i>Óptimo real</i>	<i>Diferencia de peso</i>
Tiempo	-1.0	1.0	1.0	80 min	184.94
Temperatura	-1.0	1.0	0.1711	263.00°C	

Finalmente se realizó comparaciones múltiples según Tuckey confirmando lo señalado anteriormente, que existe una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos y que el que generó mayor diferencia de peso fue el tratamiento T2t1 correspondiente a temperatura 260°C y tiempo de 80 minutos. (Tabla 6).

Tabla 6. Comparaciones múltiples para peso biomasa torrefactada

T1t1	146.67+/-57.37	BC
T1t2	106.67+/-28.68	AB
T1t3	106.67+/-57.37	AB
T2t1	200+/-49.68	C
T2t2	140+/-49.68	B
T2t3	113.33+/-28.68	AB
T3t1	120+/-56.05	AB
T3t2	80+/-49.68	A
T3t3	93.33+/-28.68	AB

La temperatura y el tiempo hacen variar el peso porque rompen enlaces mediante el pretratamiento de torrefacción que se le realiza a los residuos de poda de uva este método se usa para mejorar las propiedades de la biomasa como combustible, debido que son biomásas lignocelulósicas que es el principal componente de la pared celular

de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable con alternativas de solucionar problemas y convertirse en una alternativa para la producción de energía.

Según los siguientes trabajos de investigación en torrefacción manifiestan lo siguiente:

La torrefacción también conocida como precarbonización es el tratamiento térmico a bajas temperaturas (200 ° C a 300 ° C), aplicado a materiales lignocelulósicos con el objetivo de mejorar sus propiedades energéticas. El aumento de la Temperatura de tostado mostró un mayor contenido de lignina y carbono fijo, menos contenido de humedad en equilibrio, mayor contenido calórico superior, menor contenido de volátiles y menor rendimiento en masa. Se recomienda asar a una temperatura de 250°C, ya que los chips torrefactados bajo esta condición presentaron mejores resultados. (Cassia Oliveira Carneiro, Ladeira Carvalho, & Perdigão, 2016)

Se Evaluó las tasas termo gravimétricas y des volatilización de hemicelulosa y celulosa, y el comportamiento calorimétrico de la biomasa torrefactada, de cinco especies leñosas tropicales a tres temperaturas (TT) y tres tiempos de torrefacción (tT). Los análisis calorimétricos mostraron que la hemicelulosa es el componente menos estable en la biomasa torrefacta en condiciones de torrefacción Severa, y la celulosa es más estable térmicamente en la biomasa torrefactada. A partir de los resultados de MAPC, las mejores condiciones de torrefacción para los análisis Colorimétricos fueron a 200 y 225 ° C después de 8, 10 y 12 min, para la torrefacción ligera y media, respectivamente, para las cinco especies leñosas. (Johanna, Rodriguez Zuñiga, & Moya, 2018)

El tiempo de residencia, temperatura de torrefacción y tamaño de partícula ideales para llevar a cabo la torrefacción de residuos forestales en un horno rotatorio horizontal fueron de 80 minutos, 260°C y una astilla de medidas promedio de 0,56 cm, 3,44 cm y 1,84 cm de alto, largo y ancho respectivamente (Durán Hernández & Agresott Ramírez, 2016).

Las biomásas torrefactadas mostraron una producción de gas combustible similar a las biomásas de partida, pero con una eficacia ligeramente superior. Así, el

pretratamiento de torrefacción podría ser empleado para mejorar las propiedades de la biomasa sin afectar al rendimiento del proceso (María del Pilar, 2020).

La temperatura para llevar a cabo este proceso se sitúa entre 200 y 300°C. a temperaturas mayores se obtendrían resultados indeseados, ya que la lignina se perdería en un alto porcentaje y ello resultaría en una enorme dificultad a la hora de realizar pellets con el material. Además, existen otras desventajas a temperaturas mayores de 300°C, como la volatilización o carbonización de los polímeros. Con el aumento de temperatura en el proceso, aumenta la pérdida de masa en los volátiles, a favor de la formación de ácido acético y otros productos orgánicos; para un proceso de torrefacción a 250°C de temperatura durante 30 minutos se obtuvo un 85,9% de material orgánico, mientras que solo se obtuvo un 65,5% al aumentar la temperatura a 300°C y durante un tiempo de 20 minutos. (Losada Asensio, 2016)

3.2 VOLUMEN DE BIOGAS mlN

Tabla 7. Factores para el análisis de medidas repetidas en la evaluación de producción de volumen de biogás (mlN)

FACTOR	NOMBRE	NIVELES
INTERSUJETO	Temperatura	240°C
		260°C
		280°C
	Tiempo	40 minutos
		60 minutos
		80 minutos
INTRASUJETO	Días	D0
		D5
		D8
		D12
		D14
		D16
		D19

D21

D23

D25

D27

D32

Culminado el proceso de torrefacción se procedió a someter a digestión todas las muestras, monitoreando el volumen de biogás producido durante 32 días y la calidad de este al finalizar la digestión.

Para el procesamiento de los datos se consideró un análisis de medidas repetidas en el cual el factor intra sujeto fue Días y los factores entre sujetos fueron Temperatura (°C) y Tiempo (minutos) tal y como se detalla en la Tabla 7.

La prueba de esfericidad de W de Mauchly mostro un valor- $p < 0.05$ con lo cual se concluye que no existe esfericidad asumida por lo cual se empleara el corrector épsilon de Greenhouse-Geiser (0.215) para el análisis de varianza correspondiente mostrado en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de efectos intrasujeto para el volumen de biogás producido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Días	8942818,368	2,360	3789931,303	716,869	,000
Días * Temperatura	18596,798	4,719	3940,625	,745	,587
Días * Tiempo	8084,317	4,719	1713,051	,324	,887
Días * Temperatura*Tiempo	54370,834	9,439	5760,536	1,090	,391
Error (Días)	224546,953	42,473	5286,784		

El análisis de varianza realizado mostró al término Días como estadísticamente significativo a un 95% de confianza (Valor- $p < 0.05$), indicando que existe diferencia entre el volumen de biogás producido por los reactores conforme avanzaba la reacción.

Así mismo, se observó que no existe interacción entre los días, temperatura y tiempo, es decir el volumen producido en los reactores a determinados días no sufre

diferencias estadísticamente significativas entre sí, ya sea entre los reactores que presentaron biomasa sometida a distintas temperaturas y a distintos tiempos de torrefacción.

Tabla 9. Análisis de efectos Inter sujeto para el volumen de biogás producido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura	5746,399	2	2873,199	,201	,819
Tiempo	9216,227	2	4608,113	,323	,728
Temperatura *	23422,014	4	5855,503	,410	,799
Tiempo					
Error	256825,288	18	14268,072		

El análisis de varianza mostrado en la Tabla 9 para identificar significancia de la temperatura, tiempo e interacción sobre la producción de volumen de biogás (mlN), evidenció que todos los términos fueron no significativos estadísticamente a un 95% de confianza; es decir que no hubo diferencias en la producción de biogás en los reactores con biomasa tratada a 240,260 y 280°C, ni entre los reactores con biomasa sometida a 40, 60 y 80 minutos de torrefacción.

En la Figura 39, se muestra las gráficas de perfiles del volumen de biogás (mlN) generado para cada factor, temperatura y tiempo, en ellas se muestra gráficamente que no existe diferencia entre los niveles de biogás producido por las temperaturas de 240,260 y 280°C, ni entre el volumen producido con biomasa torrefactada a 40,60, y 80 min.

A pesar de existir diferencia en la pérdida de peso generado entre los distintos tratamientos, siendo el que hizo perder más peso 260°C a 80 minutos, ello no influye en la generación de volumen de biogás y esto se puede deber que desde el momento que se somete la biomasa lignocelulósica al pretratamiento de torrefacción todo el material mejoro sus características de manera efectiva indistintamente al tiempo y grados de temperatura permitiendo la producción de biogás.

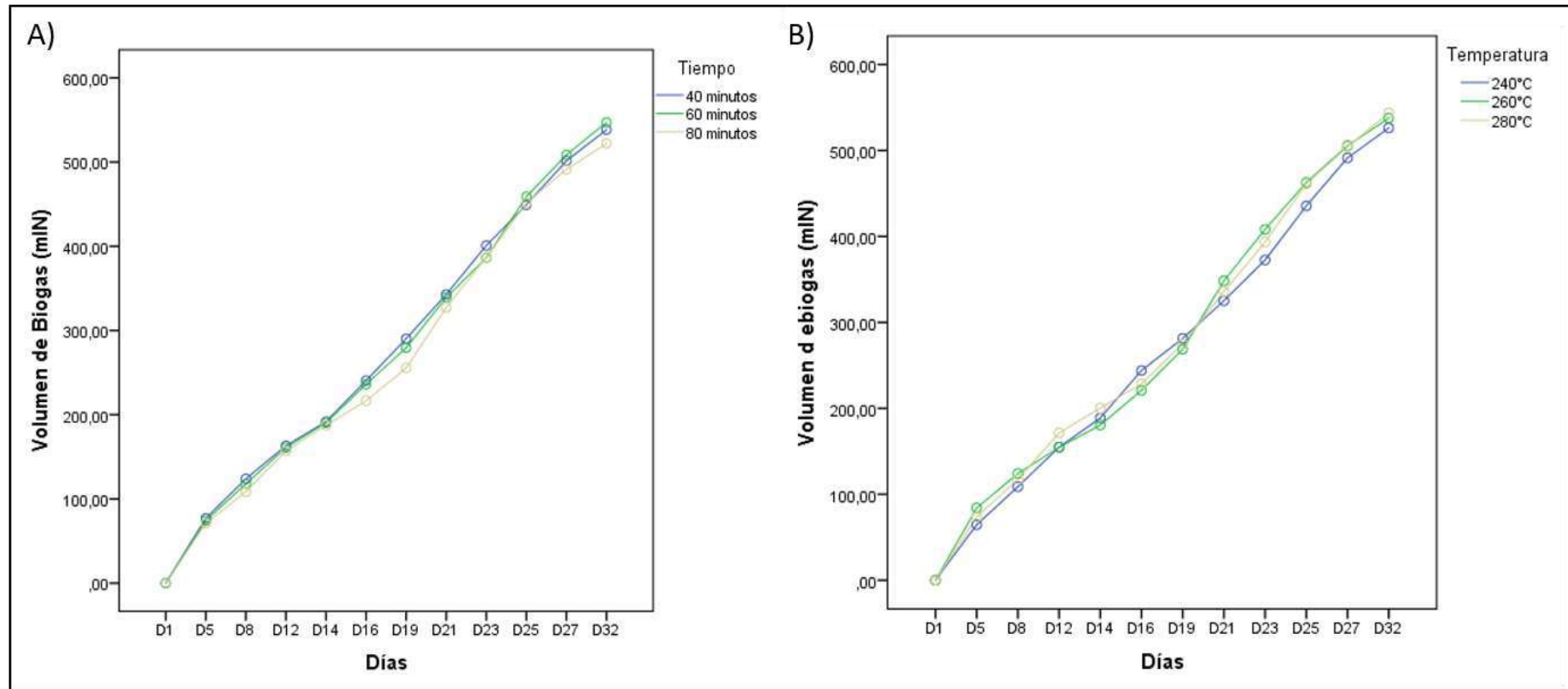


Figura 39. Gráfico de perfiles para volumen de biogás (mlN). En A) Producción con el factor tiempo y en B) producción con factor temperatura

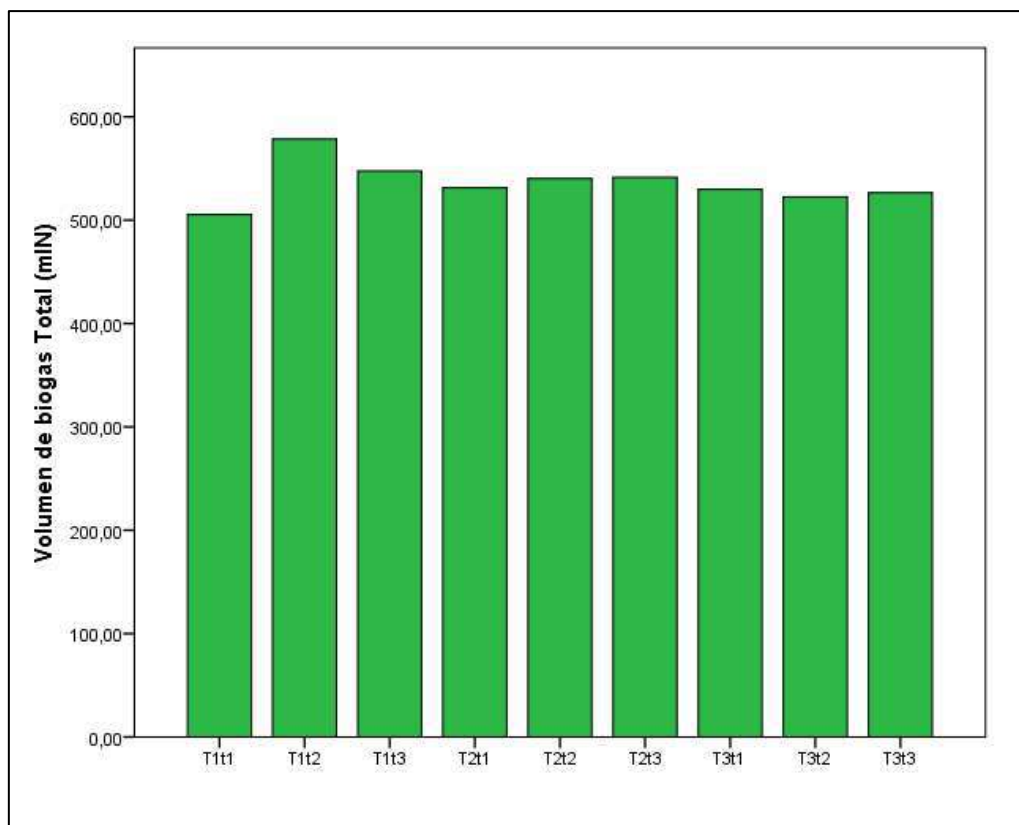


Figura 40. Volumen de biogás total (mlN)

No hay diferencias y esto puede ser que desde una temperatura de 240°C se facilita la producción a biogás, a diferencia de los que no se someten a pretratamientos.

Según los siguientes trabajos de investigación se manifiesta lo siguiente:

La torrefacción es un pretratamiento que brinda todas las posibilidades para densificar energéticamente la biomasa sólida y convertirla en un combustible con características similares a los carbones minerales comerciales y por tanto en su sustituto natural. (Arteaga Pérez, Segura, & Diéguez Santana, 2015)

Los rendimientos de biogás fueron mayores en los residuos pretratados, tanto para broza de uva como para broza de paprika frente a los sustratos no pretratados, la cantidad de metano presente en la digestión anaerobia de las brozas pre tratadas frente a las no pre tratadas tienen una diferencia significativa al especialmente la broza de paprika, esto debido quizás a su menor contenido de lignina frente a la broza de uva, sin embargo, es posible que estos valores se incrementen si se trabaja a temperaturas mayores a 100 °C y menores a 220°C. (Salazar Churata, 2019)

El mayor problema asociado a los residuos lignocelulósicos es que no pueden fermentarse directamente, debido a que el material lignocelulósico se compone de tejidos vegetales cuyas células presentan una pared formada por microfibrillas de celulosa, estas microfibrillas forman capas recubiertas de hemicelulosa sobre las que se deposita la lignina. Además manifiesta que uno de los pretratamientos más comunes es la combinación entre mecánico y alcalino, el tratamiento mecánico busca disminuir el tamaño y aumentar la porosidad y accesibilidad y el pretratamiento alcalino busca la expansión y ruptura de los enlaces de la biomasa para que las bacterias puedan realizar de manera más efectiva la digestión anaerobia, en algunos casos para mejorar la digestión anaerobia es mezclado con estiércol de vaca o de cerdo con el fin de aumentar la concentración en el proceso de producción de biogás, este pretratamiento tiene una producción promedio de biogás entre 30 y 50%. (Ricardo Pineda, Ocampo Diaz, Acevedo Pabón, & Cabeza Rojas, 2021)

Los productos de desecho de cultivos agroindustriales con alto contenido de lignocelulosa, específicamente los residuos de la cosecha del maíz suave en choclo (*Zea mays* L.), causan problemas de contaminación al no ser aprovechados; con el fin de disminuir esta problemática se evaluó obtener biocombustible de segunda generación, empleando esta biomasa como fuente de azúcares fermentables. El proceso incluye una hidrólisis de la pared de lignina de la biomasa aplicando un tratamiento con ácido sulfúrico diluido a diferentes concentraciones 0,80 y 1,0% (v/v), y a diferentes tiempos de hidrólisis (60 min y 120 min), seguido de un proceso de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*. Para determinar cuáles son los niveles de los factores que influyen en el proceso de hidrólisis (parte de la planta, concentración de ácido, tiempo de hidrólisis) se aplicó un diseño factorial 2³ cuya variable respuesta fue la concentración de glucosa. La mayor cantidad de glucosa se obtuvo del tratamiento cuyos parámetros de proceso fueron: tallo; 1,0 % H₂SO₄ y 120 min de tiempo de hidrólisis. Sin embargo, la mayor cantidad de bioetanol se logró del tratamiento cuyos niveles fueron: tallo; 1,0 % H₂SO₄ y 60 min de tiempo de hidrólisis. La producción de bioetanol obtenido en esta investigación fue de 97,45 mg etanol/g biomasa seca que corresponde a un 95,41% de rendimiento. (Díaz Basantes & Casa Iza, 2018)

3.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE BIOGÁS

Tabla 10. Evaluación de la calidad de biogás

N°	CLAVE	TEMPERATURA	TIEMPO	N° DE R.	CH4	CO2	O2	H2S	Bal
					%	%	%	PPm	%
1	T1t1	280°C	80 minutos	1	58.7	23.6	1.7	1	16.1
2	T1t2	280°C	60 minutos	1	58.4	26.4	2.1	1	13.1
3	T1t3	280°C	40 minutos	1	65.9	27.1	1.0	1	6.1
4	T2t1	260°C	80 minutos	1	65.4	25.0	1.2	0	8.4
5	T2t2	260°C	60 minutos	1	63.0	26.2	1.4	1	9.4
6	T2t3	260°C	40 minutos	1	66.8	29.9	0.6	1	2.7
7	T3t1	240°C	80 minutos	1	62.8	27.4	0.8	1	9.0
8	T3t2	240°C	60 minutos	1	66.7	29.5	0.7	1	3.1
9	T3t3	240°C	40 minutos	1	64.7	32.6	0.6	1	2.3
10	T1t1	280°C	80 minutos	2	65.1	24.6	0.8	1	9.5
11	T1t2	280°C	60 minutos	2	66.6	27.0	0.8	1	5.6
12	T1t3	280°C	40 minutos	2	65.3	26.3	1.0	1	7.4
13	T2t1	260°C	80 minutos	2	60.1	27.3	2.0	1	10.6
14	T2t2	260°C	60 minutos	2	65.4	27.8	1.1	1	5.7
15	T2t3	260°C	40 minutos	2	65.8	30.9	0.2	1	3.1
16	T3t1	240°C	80 minutos	2	66.7	28.2	0.8	2	4.3
17	T3t2	240°C	60 minutos	2	64.0	34.4	0.9	2	0.7
18	T3t3	240°C	40 minutos	2	65.0	32.4	0.6	1	2.0
19	T1t1	280°C	80 minutos	3	34.5	17.3	7.9	1	40.3
20	T1t2	280°C	60 minutos	3	64.3	26.5	0.4	1	8.8
21	T1t3	280°C	40 minutos	3	65.6	30.2	0.5	1	3.7
22	T2t1	260°C	80 minutos	3	64.7	28.2	0.8	1	6.3
23	T2t2	260°C	60 minutos	3	63.6	34.6	0.5	2	1.3
24	T2t3	260°C	40 minutos	3	59.9	36.4	0.7	1	3.0
25	T3t1	240°C	80 minutos	3	40.9	29.0	1.5	1	28.6
26	T3t2	240°C	60 minutos	3	59.3	37.0	0.6	2	3.1
27	T3t3	240°C	40 minutos	3	53.7	36.2	1.3	3	8.8

Elaboración propia

Para la calidad de procesó cada parámetro brindado por el analizador de gases no encontrándose significancia estadística para los factores tiempo y temperatura sobre porcentaje de metano (CH_4) y porcentaje de oxígeno (O_2) Tabla 11 y 12.

Tabla 11. Análisis de varianza para metano (CH_4) producido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-p
A: Tiempo	160.802	1	160.802	3.84	0.0649
B: Temperatura	0.02	1	0.02	0.00	0.9828
AA	48.1667	1	48.1667	1.15	0.2970
AB	54.1875	1	54.1875	1.29	0.2695
BB	69.36	1	69.36	1.66	0.2136
Bloques	388.282	2	194.141	4.64	0.0229
Error total	795.808	19	41.8846		
Total (corr.)	1516.63	26			

Tabla 12. Análisis de varianza para oxígeno (O_2) producido

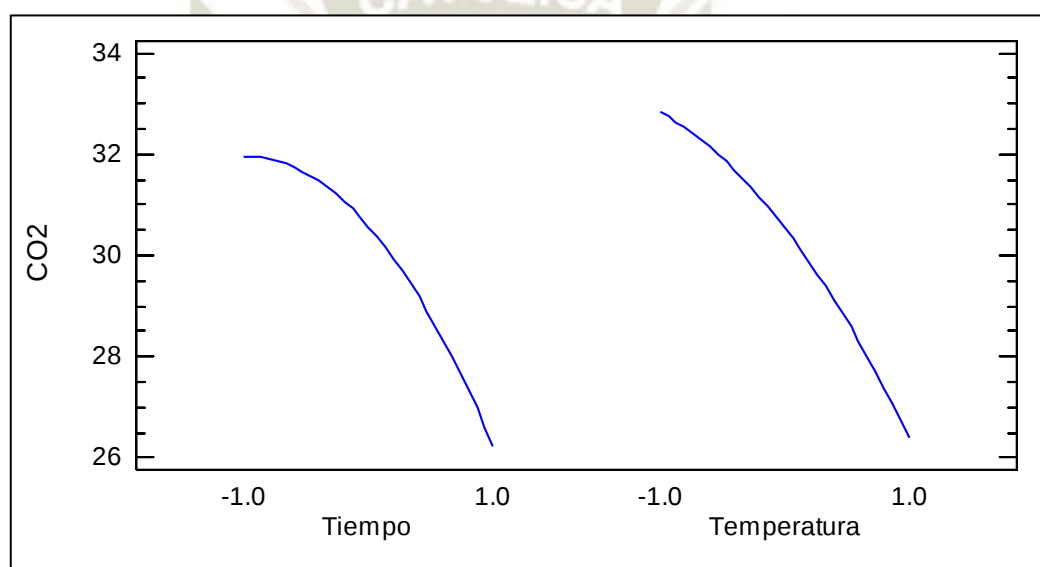
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-p
A: Tiempo	6.72222	1	6.72222	3.99	0.0589
B: Temperatura	3.92	1	3.92	2.33	0.1420
AA	0.907407	1	0.907407	0.54	0.4711
AB	4.44083	1	4.44083	2.64	0.1194
BB	0.907407	1	0.907407	0.54	0.4711
Error total	35.3718	21	1.68437		
Total (corr.)	52.2696	26			

Según estos resultados se muestra que se obtiene buena calidad en termino de metano con un pretratamiento desde 240°C que es la menor temperatura y tiempo de 40 minutos que sería el mínimo gasto energético para producir biogás de los tratamientos realizados en el trabajo de investigación.

En la Tabla 13, se muestra que el factor tiempo y temperatura fueron significativos (valor- $p < 0.05$) sobre el % de CO_2 producido, presentado un leve efecto cuadrático que no llega a tener significancia estadística y que es mostrado en la Figura 41.

Tabla 13. Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO₂) producido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-p
A: Tiempo	146.776	1	146.776	20.53	0.0002
B: Temperatura	184.961	1	184.961	25.87	0.0000
AA	12.7119	1	12.7119	1.78	0.1961
BB	5.28907	1	5.28907	0.74	0.3990
Error total	157.306	22	7.15027		
Total (corr.)	507.043	26			


Figura 41. Grafica de efectos principales para %CO₂

En la Figura 41. se observa que a menor tiempo (40 minutos) de biomasa torrefacta se obtiene un 32% de CO₂ y a temperaturas de 240°C se obtendrá un porcentaje de CO₂ de 33%.

Por su parte se muestra la gráfica de superficie de respuesta generada y la gráfica de contornos que permiten encontrar los porcentajes de CO₂ aproximados a todas las combinaciones de temperatura y tiempo dentro de la región experimentada, obteniendo menor porcentaje de CO₂ con biomasa torrefactada a mayor tiempo y temperatura. (Figura 42)

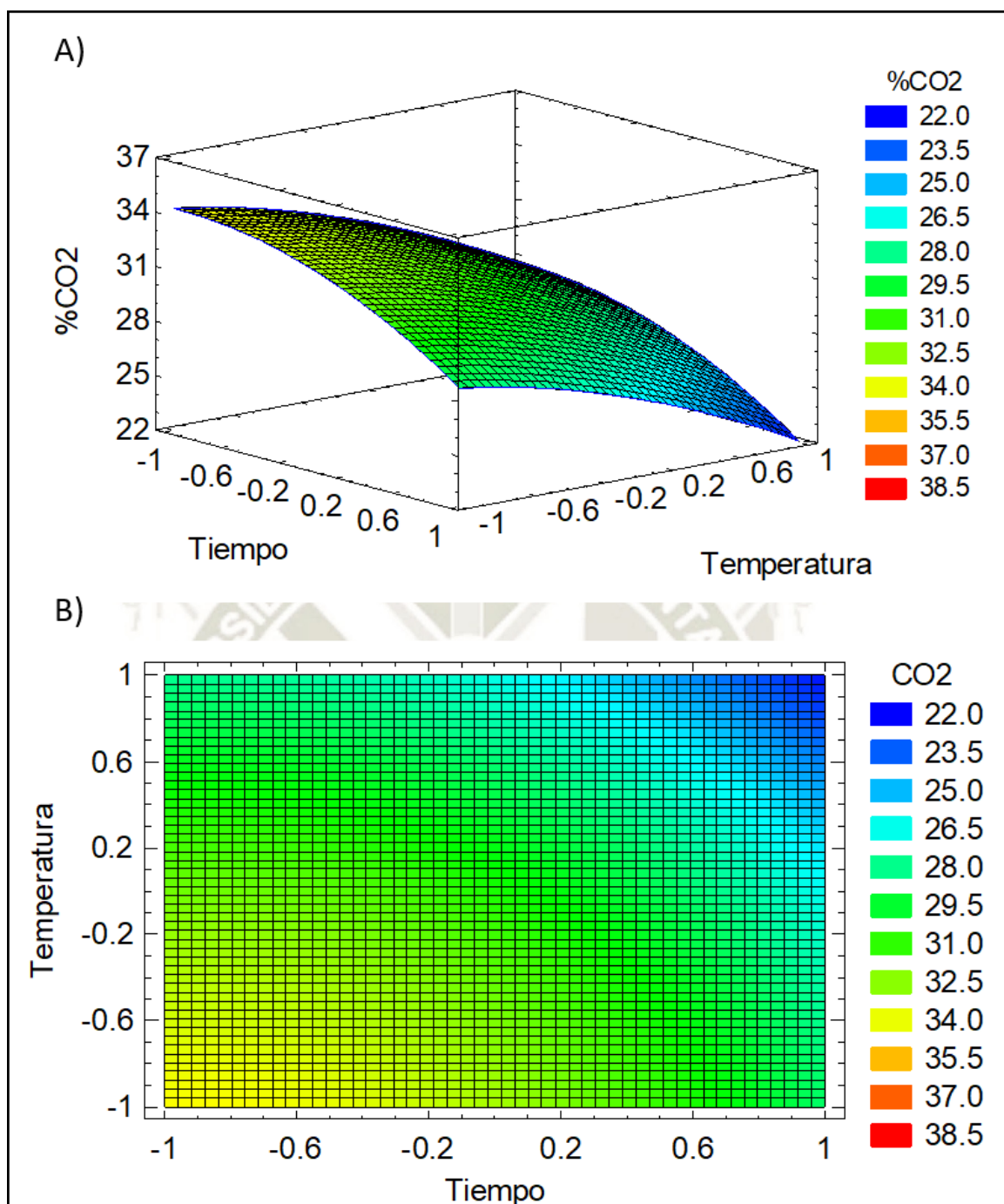


Figura 42. Superficie de respuesta y contornos para % de CO₂.

Finalmente, la producción de H₂S(ppm) se ve afectada por la temperatura a la cual la biomasa fue torrefactada, presentando menores valores de H₂S aquellas biomásas que fueron torrefactadas a menor temperatura (240°C) Tabla 14 y Figura 43.

El proceso de torrefacción mejora las propiedades químicas de la biomasa vegetal, al aumentar su calidad como combustible. La composición química se modifica al degradarse térmicamente la hemicelulosa, celulosa y lignina, afectando principalmente la hemicelulosa. Los grupos hidroxilos se fragmentan, lo que permite obtener un producto hidrofóbico. En la torrefacción se obtienen productos sólidos, líquidos y gases. La calidad del producto sólido depende de la biomasa y condiciones del proceso, ya que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de residencia, el porcentaje de carbón fijo y poder calorífico se incrementan. El rendimiento másico y energético dependen de las condiciones en que se realiza la torrefacción, ya que al aumentar la temperatura el rendimiento másico y energético se reduce; en cambio, aumenta el rendimiento de líquidos y gases. Por lo tanto, el rendimiento másico y energético es un indicador de la eficiencia del proceso de torrefacción. (Bustamante García, 2016)

A pesar de existir un enorme potencial para utilizar la biomasa lignocelulósica como fuente de energía, combustibles y compuestos químicos, aun este recurso no es explotado de manera eficiente. Los principales problemas logísticos e inherentes a las propiedades del material deben eliminarse, para lograr que este sea competitivo frente a los combustibles convencionales. La torrefacción es un pretratamiento que brinda todas las posibilidades para densificar energéticamente la biomasa sólida y convertirla en un combustible con características similares a los carbones minerales comerciales y por tanto en su sustituto natural. La tecnología está en una fase de desarrollo inicial y se han identificado los problemas que suponen ser las barreras fundamentales para su inclusión en el mercado. (Arteaga Pérez, Segura, & Diéguez Santana, 2015)

Tabla 14. Análisis de varianza para H₂S producido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-p
A: Tiempo	0.222222	1	0.222222	0.83	0.3725
B: Temperatura	1.38889	1	1.38889	5.19	0.0333
AA	0.296296	1	0.296296	1.11	0.3047
AB	0.0833333	1	0.0833333	0.31	0.5827
BB	0.462963	1	0.462963	1.73	0.2026
Error total	5.62037	21	0.267637		
Total (corr.)	8.07407	26			

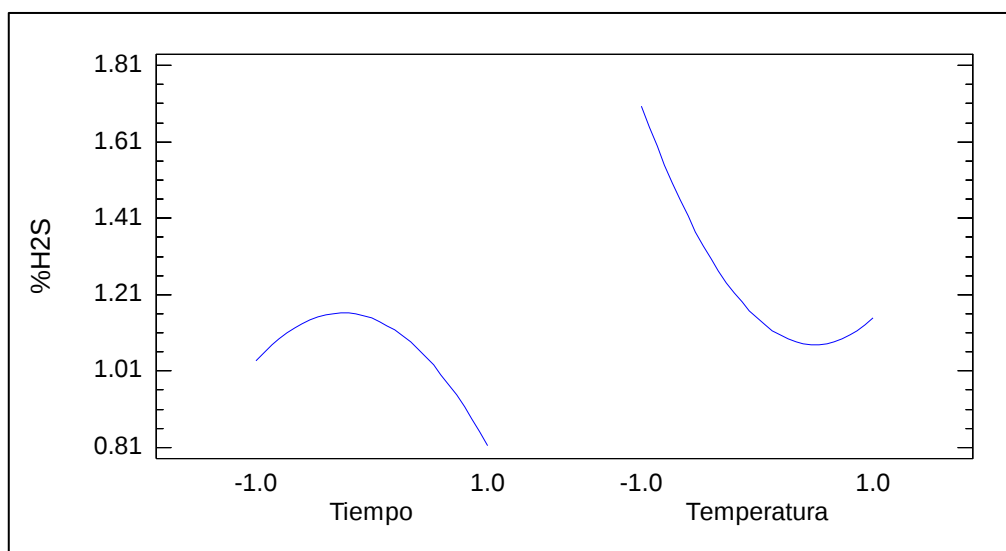


Figura 43. Gráfica de efectos principales para %H₂S

La superficie de respuesta generada Figura 43, presenta una forma tipo silla, debido al ligero efecto cuadrático y a que la temperatura fue significativa pero no el tiempo. Se identifica que la mayor producción de H₂S fue con biomasa bajo condiciones de menor temperaturas (240°C) y tiempos de hasta 60 minutos. Si se desea disminuir la ppm de H₂S generados se debería trabajar con biomasa torrefactada a temperaturas alrededor de los 280°C.

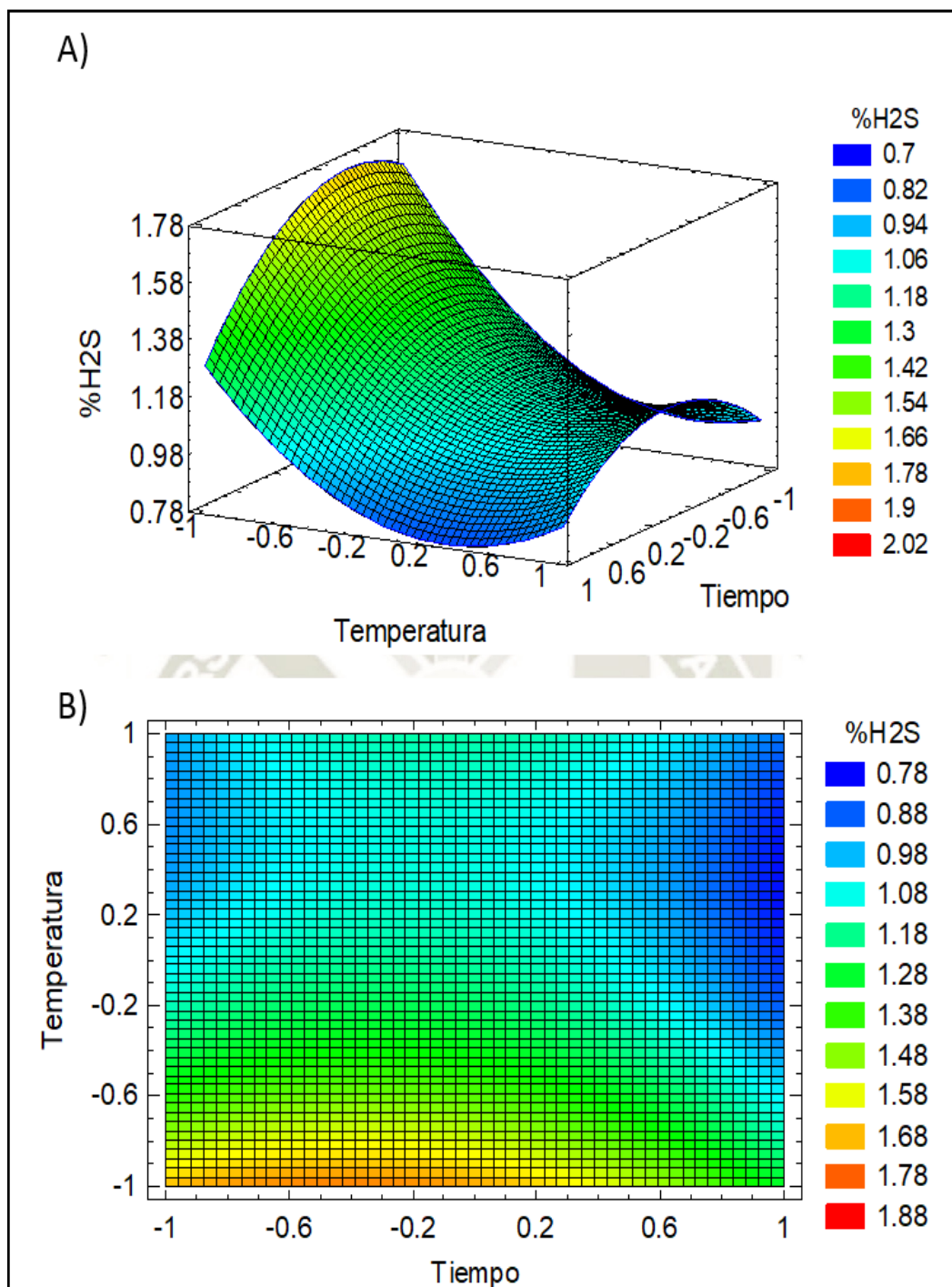


Figura 44. Superficie de respuesta y contornos para % de H_2S

3.4 EVALUAR EL COSTO DEL PROCESO DE LA PRODUCCION DE BIOGAS (S/Nm³ DE BIOGAS CON RESIDUOS DE UVA PRETRATADOS POR TORREFACCION

TORREFACCION

Materia prima

Biomasa de residuos de poda no se le coloca costo porque durante el proceso de mantenimiento se realiza esta labor en el cultivo

Costo de mano de obra

1 jornal para juntar la biomasa equivale a 70 soles 1 tonelada equivale a 0,07 soles el kilo por 14 kg que se utilizó en la investigación nos da un total de 0.98 soles.

Costo de la maquinaria para fraccionar los residuos de poda de uva.

1 hora el costo 80 soles por tonelada equivale 0.08 soles el kilogramo
Por 14 kilogramos 1.12 soles costo total

Insumo

Energía eléctrica kw 0.69 soles

Precio por hora de energía 0.15 soles

Costo por tonelada 1000 por 0,40 equivale 400 soles

Costo por tonelada 1000 por 0.30 equivale 300 soles

Costo por tonelada 1000 por 0.20 equivale a 200 soles

9 tratamientos de 80 minutos 720 minutos equivale a 12 horas costo total 1.80 soles

9 tratamientos de 60 minutos 540 minutos equivale a 9 horas costo total 1.35 soles

9 tratamientos de 40 minutos 360 minutos equivale a 6 horas costo total 0.90 soles

Tabla 15. Costo de la torrefacción por tratamiento y por tonelada

	9 tratamien tos 80 minutos (soles)	9 tratamiento 60 minutos (soles)	9 tratamiento 40 minutos (soles)	Costo tonelada (soles)	Costo tonelada (\$)
Materias primas	0		0	0	0
Mano de obra	0.07	0.07	0.07	70	17.95
maquinaria	0.08	0.08	0.08	80	20.51
Energía eléctrica	0.40			400	102
Energía eléctrica		0.30		300	76.92
Energía eléctrica			0.20	200	51.28

Elaboración propia

Según los resultados obtenidos y llevados a dólares el costo por tonelada en cada tratamiento, el costo más alto es el proceso del pretratamiento en el torrefactor con el consumo de la energía eléctrica 140 dólares la tonelada para tratamiento de 80 minutos, 115 dólares para el tratamiento de 60 minutos y 89.74 dólares para 40 minutos resultado precio por kilogramo del material torrefactado de 0.14 dólares, 0.12 dólares y 0.09 dólares, costo de material torrefactado para la venta 0.26 dólares el kilogramo, precio del carbón vegetal 0.41 dólares con los resultados obtenidos se puede determinar que solo con el proceso de torrefacción a pesar del consumo de la energía eléctrica se producen cambios beneficiosos en la composición de la biomasa e incrementamos su poder calórico y resistencia a la degradación y podemos aplicarlo a un amplio rango de materiales de biomasa de residuos.

Con respecto a la producción del volumen y calidad de biogás no se pudo determinar costos porque los resultados salieron no significativos considerando que todos los tratamientos producen biogás desde el momento que el material se somete al pretratamiento de torrefacción se mejoran las propiedades de la biomasa.

Según los resultados obtenidos en el siguiente trabajo de investigación se tiene que, la cantidad de energía contenida en 1 m³ de biogás con 70% de metano en condiciones normalizadas es de 7.7 kWh; comparando con la energía de 1 litro de petróleo 9.1 kWh y 1 litro de diesel 9.8 kWh, se puede notar la diferencia energética a favor de los

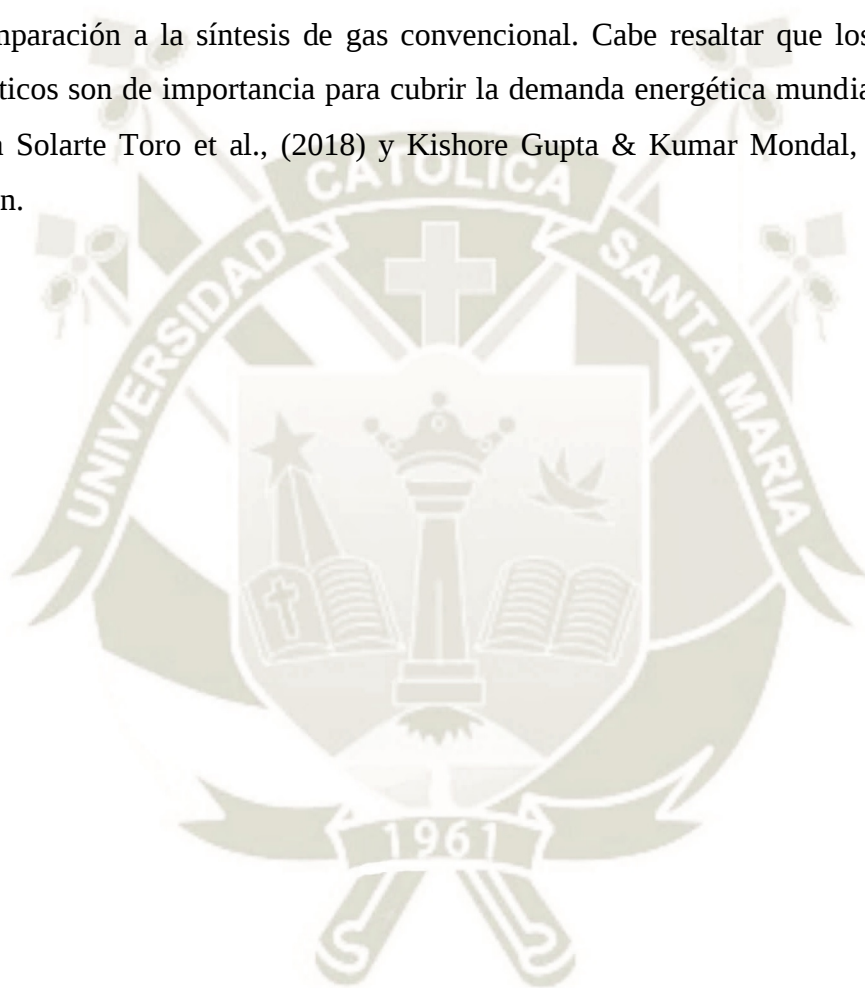
combustibles fósiles, sin embargo, los beneficios económicos, sociales y ambientales que ofrece el biogás lo convierten en una alternativa atractiva. (Calero Silva, 2011)

DISCUSION

La torrefacción de biomasa indirecta y renovable de origen vegetal o biomasa lignocelulósica está mostrando un interés científico y tecnológico para la producción de biogás como alternativa de combustible amigable con el medio ambiente con un alto potencial energético Panwar et al., (2012), y el cual ha conllevado a estudiar parámetros de control en el proceso (temperatura y tiempo de residencia en la reacción), propiedades termo-gravimétricas Brillard et al., (2019), evaluación tecno-económica y generación de calor para su mejora continua. Nuestros resultados para la torrefacción de residuos de poda de uva reportan que la temperatura de operación óptima fue de 260 °C en 80 minutos de reacción, este resultado se justifica de acuerdo con la cantidad de metano producido y al gasto energético empleado para su tratamiento. Adicionalmente, es probable que el producto obtenido después de la torrefacción de los residuos de uva haya mejorado sus propiedades como el poder calorífico y la higroscopicidad, esta afirmación se sustenta a la información reportada por Isemin et al., (2019). Y, se complementa a lo reportado por Wang et al., (2017), donde indica que la temperatura es la variable más importante del proceso de torrefacción, asimismo, el autor también tomo en consideración que el tamaño de partícula de la biomasa presenta un rol importante, donde el aumento del tamaño de partícula conlleva a una pérdida muy significativa del peso de la biomasa y a un incremento de la masa del producto que ha sido procesado por torrefacción en un reactor.

Por otro lado, la investigación reportada por Bridgeman et al., (2008), indico que el incremento de temperatura en procesos de torrefacción genera pérdidas de masa hasta un 38% a 290 °C. Adicionalmente en los estudios realizados por Zhang et al., (2019), realizaron la comparación de la torrefacción convencional (torrefacción seca) por encima de los 260° C versus la torrefacción húmeda a 220 °C cuya finalidad principal fue demostrar el efecto de estos pretratamientos sobre la digesta de los tallos de maíz y sus comportamientos en la degradación térmica, el cual registraron resultados de una excelente reactividad en el caso de la torrefacción húmeda, sin embargo, presento sensibilidad a la temperatura. A pesar de ello se considera que han mejorado las propiedades del combustible.

Finalmente, es posible realizar una investigación e implementar las condiciones propuestas por Deli Zhang y Ziliang Wang para el caso de los residuos de poda de uva como materia prima (biomasa). El propósito de ampliar esta área de investigación es buscar nuevas alternativas y aplicar métodos para el pretratamiento (torrefacción, carbonización hidrotermal y extracción por solvente degradante) Liu et al., (2020) de la materia prima para la producción de biogás a partir de biomasa lignocelulósico y sea de un costo tecnológico bajo, ya que esta tecnología en la actualidad presenta costos elevados en comparación a la síntesis de gas convencional. Cabe resaltar que los dos sectores energéticos son de importancia para cubrir la demanda energética mundial, tal como lo reporta Solarte Toro et al., (2018) y Kishore Gupta & Kumar Mondal, (2019), en su revisión.



CONCLUSIONES

1.- El proceso de pretratamiento de torrefacción, tuvo un efecto significativo porque se redujo la cantidad de humedad, la resistencia mecánica, que se debió a la deshidratación y transformación de la lignina que produce un ablandamiento siendo de fácil trituración por efecto de la temperatura y el tiempo de mantenimiento considerando la pérdida de la biomasa de residuos de poda de uva dándole la posibilidad de utilizarla como fuente de energía y convertirla en un combustible. Se observa además que el tiempo tiene un efecto positivo sobre la diferencia de peso es decir a mayor tiempo se incrementa la diferencia de peso, por el contrario, la temperatura tiene un efecto cuadrático negativo encontrando la mayor pérdida de peso en la zona central en el tratamiento T2t1 es decir alrededor de los 260°C y tiempo de 80 minutos.

2.- Según los resultados para el volumen de biogás se concluye que no hay diferencia significativa entre tratamientos lo cual demuestra que desde que se aplica el pretratamiento de torrefacción a la biomasa de residuos de poda de uva se mejora sus propiedades para considerarla como una alternativa de producción de combustible, por lo cual un país que puede generar su propio biogás utilizando sus residuos sin tener que deforestar nuestros árboles para producir carbón reduce su dependencia de otras fuentes de energía como son los combustibles fósiles.

3. - Para los resultados de calidad de biogás se concluye que todos los tratamientos resultan no significativos pero todos producen biogás demostrando que utilizando el pretratamiento y mejorando las características de la biomasa podemos producir biogás y utilizar como alternativa la del menor esfuerzo tiempo y costo que sería el tratamiento T3t3 que es de temperatura de 240°C a un tiempo de 40 minutos, además debemos considerar que el uso del biogás puede reducir la demanda de otros combustibles que causan grandes impactos sociales y medioambientales los cuales producen altas emisiones de CO₂ a la atmósfera.

4. - Económicamente, para el costo del material torrefactado en el tratamiento con el tiempo de 40 minutos resulta con un precio 89.74 dólares la tonelada y a un costo por kg de material torrefactado de 0.09 dólares a diferencia del tiempo de 80 minutos que nos da como resultado 140 dólares la tonelada y a un costo por Kg de material torrefactado 0.14 dólares y para el tiempo de 60 minutos nos da como resultado del material

torrefactado de 115 dólares la tonelada y a un costo por Kg de material torrefactado 0.12 dólares para el proceso de biogás no se tuvieron resultados de costos por lo que todos los tratamientos producen biogás determinando que la alternativa más económica sería la del tratamiento con el menor tiempo y con la menor temperatura, el uso de esta biomasa de residuos de poda de uva se puede considerar como una energía alternativa, que representa beneficios al darle valor a residuos que son desechados y obtener energía a partir de ellos ahorrando transporte y almacenaje.



RECOMENDACIONES

1. Evaluar el pretratamiento de torrefacción con diferentes biomásas lignocelulósicas para determinar sus posibles alternativas de producción de energía.
2. Evaluar la conversión biológica de biogás con biomasa torrefactada con otros tipos de estiércoles para determinar sus volúmenes producidos debido a que las biomásas lignocelulósicas se encuentran en etapa de investigación en Perú.
3. Analizar y determinar los compuestos que se consiguen con las biomásas torrefactadas para darle un manejo y uso correspondiente para la generación de biogás.
4. Realizar un estudio de costos de traslado de biomásas torrefactadas debido a que los residuos de poda de frutales se encuentran en diferentes zonas y el mantenimiento se hace en diferentes épocas para cubrir la demanda, además la investigación dirigida puede revelar otros productos económicamente viables que puedan ser de interés como productores de energía.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Akbari, M., OlajireOyedun, A., Gemechu, E., & Kumar, A. (2021). Huellas comparativas de energía del ciclo de vida y gases de efecto invernadero de los procesos de torrefacción seca y húmeda de diversas materias primas de biomasa. *Journal of Environmental Chemical Engineering - ELSEVIER*.
- Alvarez–Castillo, A., Salgado–Delgado, R., García–Hernández, E., & Domínguez, M. (Septiembre de 2012). APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LOS MATERIALES. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13(4), 1-11.
- Andrade Mendoza, E. L. (2019). Descontaminación de PB(II) de aguas residuales mineras, por adsorción con estiércol de vaca (bosta). *Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín*, 137.
- Andrade, C., Corredor, A., Buitrago, L., & Lache Muñoz, A. (2017). Procesos bioquímicos utilizados para la producción de bioetanol, biodiésel y biogás y su estado en Colombia. *Repositorio institucional Universidad de América - Colombia*, 18.
- Arteaga Pérez, L., Segura, C., & Diéguez Santana, K. (2015). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *Revista de química teórica y aplicada - España*, 60-68.
- Bridgeman, T., Jones, J., Shield, I., & Williams, P. (2008). Torrefacción de alpiste, paja de trigo y sauce para mejorar las cualidades del combustible sólido y las propiedades de combustión. *ELSEVIER-ScienceDirect-Fuel*, 844-856.
- Brillard, A., Trouve, G., Maryandyshev, P., Kehrli, D., Lyubov, V., & Brilhac, J.-F. (2019). Análisis mediante análisis termogravimétricos del impacto de los procesos

de torrefacción realizados en atmósfera no oxidativa sobre muestras de hidrólisis de lignina. *Archive ouverte HAL - Francia - Fuel- Elsevier*, 26.

Bustamante Garcia, V. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales - Scielo*, 5-23.

Calero Silva, M. (2011). Investigación del potencial de los subproductos del proceso de obtención de etanol lignocelulósico para la producción de biogás mediante fermentación anaerobia y su análisis por cromatografía de gases. *Repositorio de la Pontificia Univesidad Catolica del Ecuador*, 116.

Cassia Oliveira Carneiro, A., Ladeira Carvalho, A. M., & Perdigão, d. C. (2016). Torrefacción de astillas de madera de eucalipto con fines energéticos. *Revista Brasileña de Investigación Forestal / Bosque de Investigación de Brasil*.

CENER, E. (2011). *CENTRO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES*. Obtenido de http://www.cener.com/wp-content/uploads/2016/01/F.4-torrefaccion_ESP.pdf

Cortes Ortiz, W. (2011). MATERIALES LIGNOCELULOSICOS COMO FUENTE DE BIOCOMBUSTIBLES Y PRODUCTOS QUÍMICOS. *REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA - TECNO ESUFA*.

Cuadros, S. (2008). Residuos Agrícolas, Forestales y Lodos. *Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental*, 1-70.

Cuevas, T. (04 de 08 de 2016). *Aprendiendo tecnicamente - Nutricion Animal*. Obtenido de <https://tatianacuevasagricolas.blogspot.com/>

Dasari, M., Kiatsimkul, P.-P., Sutterlin, W., & Suppes, G. (2005). Hidrogenolisis a baja presión de la glicerina a propilenglicol. *Applied Catalysis A: General - ScienceDirect - ELSEVIER*, 225-231.

- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Munich: Wiley-VCH.
- Deutsche Gesellschaft für, I. Z. (2010). *Guía sobre el Biogás: Desde la producción hasta el uso*. Eschborn, Alemania: Dag-Hammarskjöld.
- Díaz Basantes, M., & Casa Iza, E. (2018). Evaluación del potencial de producción de bioetanol de la biomasa lignocelulósica de la caña de maíz por hidrólisis ácida. *Repositorio de la Universidad Central del Ecuador*, 115.
- Durán Hernández, D., & Agresott Ramírez, J. (2016). Evaluación del proceso de torrefacción para el mejoramiento de las propiedades energéticas de los residuos forestales. *REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA - COLOMBIA*, 123.
- FAO, E. d. (2013). *LA BIOENERGÍA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-ar589s.pdf>
- Fernandez, M. C. (2016). CARACTERIZACION DE RESIDUOS DE VID TRANSFORMADOS EN BIOCHAR. 31.
- Friedmann, A., & Penner, R. (2009). *BIOCOMBUSTIBLES, ALTERNATIVA DE NEGOCIOS VERDES*. Paraguay: Agencia del Gobierno de los Estados Unidos.
- García Rodríguez, A., & Gómez Franco, J. (2016). Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia. *Repositorio de la Universidad de America - Bogota - Colombia*, 122. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/667/1/6112733-2016-2-IQ.pdf>

- Gebremariam, S., & Marchetti, J. (2018). Economía de la producción de biodiésel: revisión. *Energy Conversion and Management - ScienceDirect - ELSEVIER*, 74-84.
- Herrera Cuero, L., & Bernal Suárez, D. (2020). Procesamiento de cerveza: tratamiento de aguas residuales. *Repositorio Universidad Santiago de Cali - Colombia*, 11.
- Isemin, R., Klimov, D., Larina, O., Sytchev, G., Zaichenko, V., & Milovanov, O. (2019). Aplicación de la torrefacción para el reciclaje de biorresiduos formados durante la digestión anaeróbica. *Fuel - ELSEVIER - ScienceDirect*, 230-239.
- Johanna, G. A., Rodriguez Zuñiga, A., & Moya, R. (2018). Calorimetría termogravimétrica, tasa dedesvolatilización y análisis de barrido diferencial debiomasa de especies de plantaciones tropicales deCosta Rica torrefactadas a diferentes temperaturasy tiempos. *Energies*.
- Juárez, P. (26 de 05 de 2021). *CELULOSA Y AISLAMIENTO*. Obtenido de <https://www.aislantescelulosicos.com/faq/que-tipo-de-biomolecula-es-la-celulosa.html>
- Kishore Gupta, G., & Kumar Mondal, M. (2019). Generación de bioenergía a partir de residuos agrícolas y enriquecimiento de productos finales. *ResearchGate*.
- Lagos Burbano, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Scielo - Agronomía Mesoamericana*, 18.
- Lede , S. (2010). *Los biocombustibles*. Obtenido de <http://www.argenbio.org/ad uploads/pdf/biocombustibles.pdf>
- Linares Díaz, J. (2018). Producción de bioetanol a partir de subproductos de la industria vitivinícola. Utilización de orujos de uva blanca. *Repositorio de la Universidad Nacional de Cuyo - Mendoza - Argentina*, 66.

- Liu, M., Zhu, X., Chen, R., & Liao, Q. (2020). Influencia de los pretratamientos de torrefacción, carbonización hidrotermal y extracción con disolventes degradantes sobre la absorción de humedad y las características de autoignición de la biomasa. *ResearchGate - Fuel - ELSEVIER*.
- Losada Asensio, L. (2016). Estudio de viabilidad técnico-económico para el uso de pellets con biomasa residual torrefactada en calderas. *Repositorio Universidad de León - España*, 188.
- María del Pilar, G. (2020). Gasificación de biomasa para la producción de gas de síntesis: efecto de las variables de operación y modelización del proceso. *Sistema de la Universidad de Oviedo - España*, 282.
- Molini, J. (2020). Engorde de novillos utilizando glicerol en la dieta como reemplazo de grano de maíz. *Repositorio Digital Institucional de la Universidad Nacional del Sur - Argentina*, 39.
- Olmedo, F. (8 de marzo de 2010). *Revista biodisol*. Obtenido de <http://www.biodisol.com/biocombustibles/estudian-los-residuos-lignocelulosicos-considerados-sobrantes-o-subproductos-de-bajo-valor-agregado-para-la-obtencion-de-energia-energias-renovables-biocombustibles/>
- Omar D. Dacres, Shan Tong, Xian Li, Xianqing Zhu, Elbager M.A. Edreis, Huan Liu, Guangqian Luo, Nakorn Worasuwanarak, Somrat Kerdsuwan, Bundit Fungtammasan, Hong Yao,. (2019). Pyrolysis kinetics of biomasses pretreated by gas-pressurized torrefaction. *Energy Conversion and Management*, 117-125.
- Ortiz, B. R., & Cruz, B. J. (2016). Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016. 122.

- Panwar, N., Kothari, R., & Tyagi, V. (2012). Conversión termoquímica de biomasa: rutas energéticas ecológicas. *ScienceDirect-ELSEVIER-Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1801-1816.
- Parra Huertas, R. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Produccion + Limpia - Scielo*, 17.
- Patrick, P., Giana, A., & Pin, L. (2015). TGA-FTIR Análisis de la torrefacción de componentes lignocelulósicos (celulosa, xilano, lignina) en condiciones isotérmicas durante un amplio intervalo de duraciones de tiempo. *BioResources*.
- Pinheiro, G. D., Caraschi, J. C., Ventorim, G., & Antunes Viera, F. H. (2018). Propiedades energéticas comparativas de pellets torrefactados en relación con pellets de hierba de pino y elefante. *BioResources*.
- Prinsen, P. (20 de 09 de 2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. *Repositorio de la Universidad de Sevilla y Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 92. Obtenido de <http://www.irmase.csic.es/users/delrio/repository%20theses/2010-Prinsen-MsC.pdf>
- Ricardo Pineda, A., Ocampo Díaz, L., Acevedo Pabón, P., & Cabeza Rojas, I. (2021). Vigilancia tecnológica asociada a los pretratamientos para la generación de biogás a partir de sustratos lignocelulósicos. *Repositorio de la Universidad de Santo Tomás - Colombia*, 38.
- Romero Salvador, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 331-345.

- Rubiano Beltrán, R. (2020). Propuesta de aprovechamiento residuo del almidón en el proceso de papa como materia prima para la industria. *Repositorio Institucional Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Colombia*, 26.
- Salazar Churata, I. (2019). Determinación del Efecto de la Temperatura/Presión, sobre el Desfibrilado en Broza de Capsicum Annuum (Paprika) y Residuos de Poda de Vitis Vinífera (Uva), para la Producción de Biogás en un Biodigestor Anaeróbico de Alta Eficiencia. *Repositorio de Tesis de la Universidad Católica de Santa María*, 97.
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *Revista Redalyc - El Cotidiano*, 75-82.
- Solarte Toro, J., Chacón Pérez, Y., & Cardona Alzate, C. (2018). Evaluación de biogás y gas de síntesis como vectores energéticos para la generación de calor y energía utilizando biomasa lignocelulósica como materia prima. *Electronic Journal of Biotechnology - ELSEVIER*, 52-62.
- Tao, L., Gu, J., & Zheng, Y. (2017). Efecto de la temperatura de torrefacción sobre las propiedades estructurales y el comportamiento de pirólisis de la biomasa. *BioResources*.
- Tauseef, S., Abbasi, S., & Abbasi, T. (2011). *Biogas Energy*. EEUU: Springer.
- TiendaBiomasa, E. (Mayo de 2018). *Tienda Biomasa*. Recuperado el Mayo de 2018, de <https://tiendabiomasa.com/biomasa/>
- Tito Ferro, D., Beatón Soler, P., & Zanzi, R. (2009). TORREFACCIÓN DE BIOMASA DENSIFICADA. *Revista Redalyc - TECNOLOGÍA QUÍMICA*, 180-186.
- Vargas Corredor, Y., & Pérez Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72.

- Villarreal, J. (13 de 05 de 2019). *Compuestos organicos de la madera: Lignina, Celulosa y Hemicelulosa*. Obtenido de <https://prezi.com/p/krd93bf4uquj/lignina-celulosa-y-hemicelulosa/>
- Wang, Z., Choon Lim, J., Grace, J., Li, H., & Parise, M. (2017). Efectos de la temperatura y el tamaño de las partículas en la torrefacción de biomasa en un reactor de lecho de pico rectangular con ranura. *Bioresource Technology*, 281-288.
- Yasmani, A. R., Perez Gil, M., Ley Chong, N., & Arteaga Perez, L. E. (2018). Diseño de una planta de torrefacción de marabúcon fines energéticos. *Tecnología Química*.
- Zhang, D., Wang, F., Zhang, A., Yi, W., Li, Z., & Shen, X. (2019). Efecto del pretratamiento sobre las características químicas y el comportamiento de degradación térmica del digestato de tallos de maíz: comparación de la torrefacción seca y húmeda. *Bioresource Technology - ELSEVIER*, 239-246.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de las variables.

VARIABLE INDEPENDIENTE	SUB-VARIABLES INDEPENDIENTE O DIMENSIÓN	INDICADORES	VALOR
TORREFACCIÓN	Temperatura	240	Grados Celsius
		260	
		280	
	Tiempo de torrefacción	40	Minutos
		60	
		80	
VARIABLE DEPENDIENTE	SUB-VARIABLE DEPENDIENTE O DIMENSIÓN	INDICADORES	VALOR
PRODUCCIÓN DE BIOGAS	Volumen de biogás	(Nm ³ /Kg de sólidos volátiles)	%
	Calidad de biogás	Metano (CH ₄)	%
		Dióxido de carbono (CO ₂)	
	Costo del proceso de biogás	(S/Nm ³ de biogás)	%

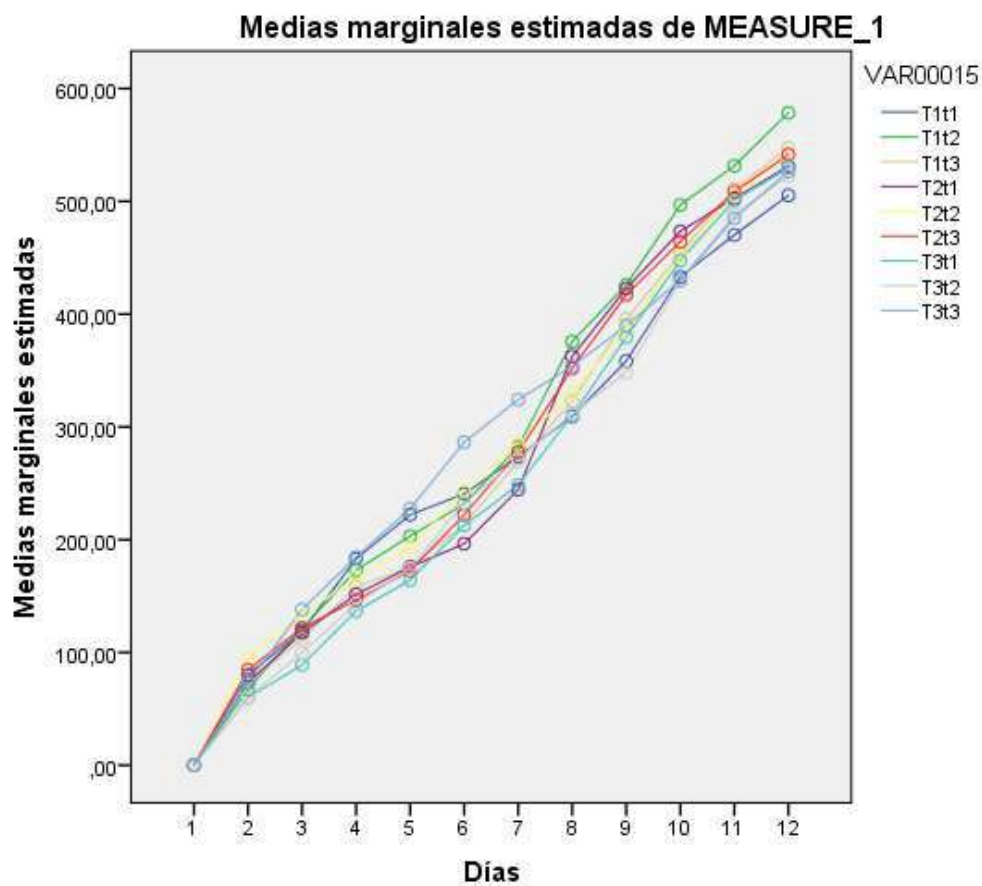
Anexo 2. Volumen de gas seco normalizado (mlN)

N°	CLAVE	Temperatura T°	TIEMPO minutos	20/03/19	25/03/19	28/03/19	1/04/19	3/04/19	5/04/19	8/04/19	10/04/19	12/04/19	15/04/19	17/04/19	22/04/19
1	T1t1	280	80	0.00	52.51	85.01	140.13	169.33	188.18	210.90	232.60	273.62	403.90	461.04	499.08
2	T1t2	280	60	0.00	62.35	124.02	179.13	213.99	239.19	265.64	331.32	389.84	496.86	541.69	586.57
3	T1t3	280	40	0.00	38.74	65.48	128.96	147.71	176.12	202.23	250.29	330.91	415.19	513.57	544.44
4	T2t1	260	80	0.00	57.39	109.49	169.07	202.12	221.25	262.33	388.82	442.26	506.19	527.73	545.92
5	T2t2	260	60	0.00	81.38	121.28	146.74	159.05	188.33	202.91	248.42	327.39	437.86	500.68	515.01
6	T2t3	260	40	0.00	62.63	90.90	124.62	138.55	189.65	236.68	298.98	414.94	455.27	497.72	532.35
7	T3t1	240	80	0.00	40.64	64.88	123.93	140.71	224.12	246.69	314.54	397.77	481.06	527.67	548.76
8	T3t2	240	60	0.00	62.33	127.36	167.18	199.02	302.46	352.76	412.46	450.22	493.35	524.93	556.07
9	T3t3	240	40	0.00	93.39	129.29	166.12	227.98	331.10	368.40	401.13	437.60	480.95	502.40	523.46
10	T1t1	280	80	0.00	78.24	117.93	155.98	180.18	192.02	249.14	322.04	410.11	472.60	501.23	518.63
11	T1t2	280	60	0.00	61.80	112.07	165.94	197.43	231.01	293.56	390.37	428.72	474.55	499.93	549.76
12	T1t3	280	40	0.00	101.08	127.38	166.27	179.77	213.03	301.52	371.12	426.90	468.64	505.03	552.22
13	T2t1	260	80	0.00	87.69	126.43	145.30	167.28	194.01	243.27	388.72	415.28	439.27	462.05	513.02
14	T2t2	260	60	0.00	107.83	147.65	179.90	206.05	299.44	343.22	373.28	414.79	462.86	504.52	545.58
15	T2t3	260	40	0.00	112.73	164.18	188.03	218.13	301.41	378.21	425.98	451.15	479.00	534.31	569.19
16	T3t1	240	80	0.00	80.18	114.65	163.24	206.36	234.39	282.91	333.42	381.54	420.00	459.83	494.42
17	T3t2	240	60	0.00	83.89	124.58	185.83	234.91	290.50	340.22	362.91	386.65	421.93	459.97	489.21
18	T3t3	240	40	0.00	52.28	121.25	201.61	249.42	304.29	358.68	404.67	454.08	493.23	530.69	558.33
19	T1t1	280	80	0.00	109.65	154.40	253.07	316.84	341.55	361.28	373.11	391.79	422.81	448.22	498.28
20	T1t2	280	60	0.00	78.14	127.27	173.63	198.18	225.34	287.62	405.21	459.36	519.17	553.03	599.02
21	T1t3	280	40	0.00	79.28	143.16	180.05	198.39	250.71	303.85	346.71	429.31	476.82	514.83	545.70
22	T2t1	260	80	0.00	74.44	116.26	139.69	158.02	173.79	227.59	309.88	410.71	474.82	518.29	534.90
23	T2t2	260	60	0.00	94.64	131.12	172.07	214.53	244.25	307.30	370.11	412.43	451.79	511.31	560.29
24	T2t3	260	40	0.00	78.33	110.08	126.17	161.21	175.21	217.79	330.77	385.33	458.58	493.41	522.87
25	T3t1	240	80	0.00	58.85	87.10	122.57	145.73	179.09	215.83	282.49	359.32	441.45	514.83	546.20
26	T3t2	240	60	0.00	34.48	46.89	76.71	89.91	105.66	121.72	159.36	207.90	372.17	480.55	522.13
27	T3t3	240	40	0.00	74.74	163.58	186.36	205.30	223.53	245.21	255.68	278.07	316.11	421.87	497.60

Anexo 3. Pruebas de efectos dentro de sujetos

Medida: MEASURE_1

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Días	Esfericidad asumida	8942818,368	11	812983,488	716,869	,000
	Greenhouse-Geisser	8942818,368	2,360	3789931,303	716,869	,000
	Huynh-Feldt	8942818,368	3,946	2266557,841	716,869	,000
	Límite inferior	8942818,368	1,000	8942818,368	716,869	,000
Días * Temperatura	Esfericidad asumida	18596,798	22	845,309	,745	,788
	Greenhouse-Geisser	18596,798	4,719	3940,625	,745	,587
	Huynh-Feldt	18596,798	7,891	2356,680	,745	,650
	Límite inferior	18596,798	2,000	9298,399	,745	,489
Días * Tiempo	Esfericidad asumida	8084,317	22	367,469	,324	,999
	Greenhouse-Geisser	8084,317	4,719	1713,051	,324	,887
	Huynh-Feldt	8084,317	7,891	1024,485	,324	,953
	Límite inferior	8084,317	2,000	4042,158	,324	,727
Días * Temperatura * Tiempo	Esfericidad asumida	54370,834	44	1235,701	1,090	,339
	Greenhouse-Geisser	54370,834	9,439	5760,536	1,090	,391
	Huynh-Feldt	54370,834	15,782	3445,073	1,090	,381
	Límite inferior	54370,834	4,000	13592,708	1,090	,391
Error (Días)	Esfericidad asumida	224546,953	198	1134,076		
	Greenhouse-Geisser	224546,953	42,473	5286,784		
	Huynh-Feldt	224546,953	71,020	3161,747		
	Límite inferior	224546,953	18,000	12474,831		



Anexo 4. Análisis físico químico de los residuos de poda de uva y del estiércol fresco de vacuno.



Sr(es.)
UCSM Proyecto de Biometano
Arequipa



LNA/ 062/2018

Resultados obtenidos de muestras remitidas por el solicitante y corridas en duplicado

Características Físico-químicas

Todos los resultados en base seca:

Parámetros Nutricionales	Muestra	Resid de poda de Uva
	Código	062-18
Materia Seca Total (MST)	(%)	96.62
Proteína Cruda (PC)	(%MS)	3.81
Extracto Etéreo (EE)	(%MS)	0.30
Fibra Det. Neutro (FDN)	(%MS)	63.62
Fibra Det. Acido (FDA)	(%MS)	42.57
Lignina detergente acido (LDA)	(%MS)	13.76
Hemicelulosa (HCEL)	(%MS)	21.05
Celulosa (CEL)	(%MS)	28.81
Cenizas (CZS)	(%MS)	2.95
Carboh. No Fibrosos (CNF) ¹	(%MS)	29.31
pH		5.94
Conductividad	ms	2.22
		Estiércol fresco vacuno
	Código	060-19
Sólidos Totales (ST)	(%)	15.63
Cenizas (CZS)	(%MS)	3.72
Sólidos volátiles totales (SVT)	(%)	11.91

[Firma]
JOSÉ L. TORRES TORRES, M.C. M.D.C.
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
AREQUIPA, PERÚ

Arequipa, 01 de marzo del 2019

MS, Humedad, PC, EE, CZS según AOAC, (1990)

FDN, FDA, LDA, según Van Soest y Roberston, (1991), modificado por ANKOM, (2005)

FC según ANKOM (2005)

PIDN, PIDA, según Van Soest y Roberston, (1991), modificado por ANKOM, (2005)

pH, método potenciométrico Hanna Instruments

LABORATORIO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL - UCSM E.P. MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Teléfono: 054-382038 Anexo 1186 Celular: 959670257 RPM: 959670257

lnaavet@ucsm.edu.pe

Anexo 5. Datos de presión atmosférica diaria de los meses de marzo y abril de 2019 de las estaciones del Pedregal y la Pampilla.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



Ministerio
del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" 2018 - 2027
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

INFORMACION METEOROLOGICA

PREPARADO PARA:

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

Atención: Mgter. Ing. Froy Coloma Dongo

Referencia : Oficio N° 122-EPIAA-2019

PRESION ATMOSFERICA MEDIA DIARIA (hPa)

ESTACIÓN MAP LA PAMPILLA			ESTACIÓN MAP PAMPA DE MAJES		
DIA	MARZO	ABRIL	DIA	MARZO	ABRIL
1	771.9	771.9	1	852.3	850.9
2	771.4	771.8	2	852.7	851.7
3	771.6	771.9	3	851.1	853.1
4	771.8	771.8	4	851.0	852.4
5	771.6	771.5	5	851.4	852.3
6	771.6	771.7	6	852.0	852.7
7	771.4	771.9	7	851.1	852.8
8	771.8	771.9	8	849.8	852.4
9	771.4	771.6	9	849.0	851.8
10	771.4	771.9	10	850.1	851.1
11	771.5	771.5	11	850.8	850.9
12	771.4	771.8	12	849.5	850.9
13	771.7	771.7	13	849.9	850.9
14	771.4	771.6	14	850.8	851.3
15	771.8	771.3	15	851.0	851.4
16	771.6	771.8	16	850.6	851.4
17	771.5	771.5	17	850.0	850.8
18	771.6	771.9	18	851.2	850.5
19	771.8	771.8	19	850.9	851.5
20	771.5	771.5	20	851.4	852.3
21	771.8	771.4	21	851.2	852.4
22	771.4	771.7	22	851.8	851.6
23	771.4	771.8	23	852.6	851.9
24	771.9	771.8	24	852.3	852.2
25	771.6	771.8	25	851.2	852.5
26	771.7	771.4	26	849.2	851.9
27	771.4	771.6	27	850.8	850.1
28	771.6	771.6	28	852.5	849.8

Calle Federico Torrico C - 28, Urb. Atlas - Arequipa
Teléfono: 054 - 256116
www.senamhi.gob.pe

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL



Anexo 6. Datos de presión atmosférica diaria de los meses de marzo y abril de 2019 de las estaciones del Pedregal y la Pampilla.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



Ministerio
del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" 2018 - 2027
"Año de la Lucha contra la Corrupción y La Impunidad"

**ESTACIÓN
MAP LA PAMPILLA**

DIA	MARZO	ABRIL
29	771.4	771.4
30	771.5	771.7
31	771.7	

**ESTACIÓN
MAP PAMPA DE MAJES**

DIA	MARZO	ABRIL
29	851.4	850.6
30	851.8	850.9
31	851.7	

Arequipa, 31 de mayo del 2019.



M.Sc. Bgo. Guillermo Edgar Gutiérrez Paco
Director Zonal 6 - SENAMHI

Calle Federico Torrico C - 28, Urb. Atlas - Arequipa
Teléfono: 054 - 256116

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL