



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE
SÓLIDO A PARTIR DE RESIDUOS
DE FRUTAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:
JHOFRE PABLO LOPEZ DEL RIO
MOISES ROBALINO INUMA**

**ASESOR:
Ing. VICTOR GARCIA PEREZ, Mtro.**

IQUITOS, PERÚ

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
Facultad de Ingeniería Química



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 006-CGT-FIQ-UNAP

En Iquitos, a los seis días del mes de diciembre del dos mil veinte y uno, a horas CATORCE, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: “**OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE RESIDUOS DE FRUTAS**”, aprobado con Resolución Decanal N° 205-2021-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Jhofre Pablo Lopez Del Rio y Moisés Robalino Inuma**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 150-2021-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. MANUEL VELÁSQUEZ VÁSQUEZ, Mtro.	Presidente
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, MSc.	Miembro
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: SATISFACTORIAMENTE

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA con la calificación BUENA, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Químico**. Siendo las QUINCE HORAS se dio por terminado el acto de SUSTENTACIÓN.

Ing. MANUEL VELÁSQUEZ VÁSQUEZ, Mtro.
Presidente de Jurado

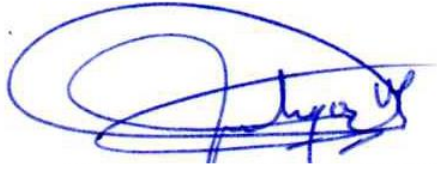
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, MSc.
Miembro

Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Miembro

Ing. VICTOR GARCÍA PÉREZ, Mtro.
Asesor



JURADO



Ing. Manuel Velásquez Vásquez
Presidente



Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, MSc.
Miembro



ING. Fernando Javier Salas Barrera
Miembro



Ing. VICTOR GARCÍA PÉREZ
ASESOR

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres, Alexander y Jessica, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir la realización de esta tesis. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de mí, el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino también para mi familia en general. Además, dedico este proyecto a mi hermano Mark, Tío Gilbert, y abuelo Julio, quienes representa gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que, sin su apoyo, no hubiese podido ser, gracias totales.

Jhofre Pablo Lopez Del Rio

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mi madre y hermanos por sus sacrificios y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome sus apoyo, comprensión y cariño.

A mis tías Ángela, Adita, Mercedes, Yolanda, Gladis, Rosa, Pilar, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mi pastora Nelly por siempre estar aconsejándome y perseverar en las cosas de dios.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas que durante todo este tiempo de preparación estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad .

Moisés Robalino Inuma

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque ha estado con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos y brindándonos fortaleza para continuar.

A cada uno de los que son parte de nuestras familias, quienes a lo largo de toda nuestra vida han apoyado y motivado a nuestra formación académica.

Finalmente, un eterno agradecimiento a los docentes y esta prestigiosa universidad la cual nos abrió y sigue abriendo las puertas a jóvenes como nosotros, preparando para un futuro competitivo y formando como personas de bien.

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	9
1.3.4. Inflamabilidad o temperatura	11
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	12
2.1. Formulación de la hipótesis	12
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño	13
3.2. Diseño muestral	14
3.3. Instrumentos y técnicas de recolección de datos	14
3.3.1. Observación:	14
3.3.2. Etapa de campo	14
3.3.3. Etapa de laboratorio	14
3.3.4. Protocolo de monitoreo en laboratorio	15
3.4. Procesamiento y análisis de datos	15
3.5. Secado	16
3.6. Secado de la cascara de piña	17
3.7. Secado de la cascara de naranja	20
3.8. Secado de la cascara de plátano	24
3.9. Molienda	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	36
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	39
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	40
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	41
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	42
ANEXOS	43

Anexo 1: Matriz de consistencia	44
Anexo 2: Panel fotográfico	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de las variables.	12
Tabla 2. Datos para obtener humedad: cascara piña.	17
Tabla 3. Variación del peso con respecto al tiempo, cascara de piña	18
Tabla 4. Datos para la curva de velocidad de secado: cascara de piña.	19
Tabla 5. Datos para obtener humedad, cascara de naranja.	20
Tabla 6. Variación del peso con respecto al tiempo: cascara de naranja.	21
Tabla 7. Datos para la curva de la velocidad de secado: cascara de naranja.	23
Tabla 8. Datos para obtener humedad, cascara de plátano.	24
Tabla 9. Variación del peso con respecto al tiempo: cascara de plátano.	25
Tabla 10. Datos para la curva de velocidad de secado: cascara de plátano.	27
Tabla 11. Combinación de cascaras para obtener pellets – presión de muestras	29
Tabla 12. Dimensiones de los pellets	29
Tabla 13. Densidad de los pellets.	30
Tabla 14. Método para determinar la humedad de los pellets.	31
Tabla 15. Método para determinar material volátil pellets	32
Tabla 16. Método para determinar porcentaje de ceniza de los pellets	33
Tabla 17. Método para determinar el porcentaje de carbón fijo de los pellets	33
Tabla 18. Método para determinar el poder calorífico.	34
Tabla 19. Tiempo de combustión de los pellets	34
Tabla 20. Resultados finales de las muestras realizadas	37
Tabla 21. Porcentaje de ceniza y carbón fijo	38
Tabla 22. Poder calorífico de las muestras	38
Tabla 23. Cuadro de poder calorífico, leña, carbón y biocombustible sólido.	39

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue: **obtener biocombustible sólido a partir de residuos de frutas**, con el fin de aprovechar y sean utilizados posteriormente en sistemas de calentamiento. El trabajo realizado tiene enfoque cuantitativo con nivel de profundización **descriptivo correlacional**. La población de estudio, fue los residuos de frutas de los mercados de belén, mercado central y mercado modelo, el tipo de muestreo es probabilístico a criterio de los investigadores, considerándose el tamaño de la muestra un máximo de 1k, 500 gramos (500 gr. Mercado belén, 500 gr. Mercado central y 500 gr. Mercado modelo). Las fuentes de donde se obtuvieron los datos como: recolección de datos, pesado, humedad, ceniza, molienda, tamizado, obtención de pellets y poder calorífico, fueron tesis de pre y posgrado además de fuente de internet. Los resultados obtenidos de las 3 muestras analizadas, de los mercados de belén, central y modelo dieron como resultado un alto poder calorífico M1: 9549,74 kcal/kg, M2: 95551,36 kcal/kg, M3: 9671,36 kcal/kg M4: 9483,4 kcal/kg los cuales corresponden a 4 muestras elaboradas respectivamente. En conclusión, se demostró que se puede obtener un biocombustible con una óptima combustión energética con residuos de frutas.

Palabras claves: Biocombustible, pellets, carbón fijo, poder calorífico

ABSTRACT
SUMMARY

The main objective of this work was: **to obtain solid biofuel from fruit residues**, in order to take advantage and be used later in heating systems. The work carried out has a quantitative approach with a descriptive correlational depth level. The study population was the fruit residues from the markets of Bethlehem, central market and model market, the type of sampling is probabilistic at the discretion of the researchers, considering the sample size a maximum of 1k, 500 grams (500 gr Nativity market, 500 gr. Central market and 500 gr. Model market). The sources from which the data were obtained such as: data collection, weighing, humidity, ash, grinding, sieving, obtaining pellets and calorific value, were undergraduate and postgraduate theses as well as an internet source. The results obtained from the 3 samples analyzed, from the Bethlehem, Central and Model markets resulted in a high calorific value M1:9549.74 *kcal / kg*, M2: 95551.36 *kcal / kg*, M3: 9671.36 *kcal / kg*, M4: 9483, 4 *kcal / kg* which correspond to 4 samples produced respectively. In conclusion, it was shown that a biofuel can be obtained with optimal energy combustion with fruit residues.

Keywords: Biofuel, pellets, fixed carbon, calorific value.

INTRODUCCIÓN

Desde que los primeros homínidos (cazadores-recolectores omnívoros), usaron los frutos, (limón, maracuyá, aguaje, cocona, piña, sandía, etc), semillas y otras partes de las plantas como parte muy importante en su dieta, aún hoy, en pleno siglo XXI, muchos pueblos tradicionales peruanos - incluyendo indígenas y campesinos amazónicos, usan extensivamente las mismas especies, tanto silvestres como cultivadas, en su vida cotidiana.

El sector agrícola en nuestra región, crece cada vez más para satisfacer el aumento de la demanda de alimentos debido al crecimiento de la población. En este contexto, contribuye sustancialmente a la generación de residuos resultantes de los procesos de producción. Estos residuos, aparentemente sin aplicación viable, pueden resultar en diversas adversidades ambientales debido a una eliminación inadecuada.

Durante décadas, el uso de biocombustibles fósiles ha generado diferentes tipos de gases que provocan que la energía de la luz solar entre a la tierra, pero no salga de su atmósfera, este proceso es conocido como efecto invernadero, provocando alteraciones en el clima a nivel planetario, esto trae como consecuencia, el incremento de la temperatura de nuestro planeta.

En el año 2014, la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzó un récord: 143% más con respecto a la era preindustrial, y llegó casi a las 400 partes por millón (ppm). Dicha acumulación igualmente tiene un impacto directo en el incremento de la temperatura terrestre. De acuerdo con la Organización Meteorológica Británica, la temperatura de la Tierra había incrementado 0.13 °C por década hasta 1979; luego de ese año y hasta la fecha, el incremento ha sido mayor: 0.25 °C por década (casi el doble). Esto se relaciona con la problemática del calentamiento global.

Ante esta situación, de incremento constante de la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles, existe la posibilidad de utilizar materia prima renovable, como son los desperdicios de frutas (cáscara, semilla), que, tienen altos niveles de materia orgánica, lo que los convierte en un potencial contaminante, si se desechan o eliminan de manera inadecuada, por lo que existe la posibilidad de utilizar estos residuos de frutas para evitar la contaminación ambiental, procesándolos para obtener biocombustibles sólidos, previa deshidratación; que en un futuro no muy lejano, debe modificar la matriz energética de los centros poblados, que actualmente está basado en la leña (obtenido como consecuencia de la tala de los árboles), para

obtener biocombustible; sumado a esto, la escasez e inestabilidad en los precios de los combustibles fósiles; haciendo atractivo el uso de estos residuos de frutas, ósea darle valor agregado a estos residuos.

Los problemas específicos de la presente investigación son:

- ¿Qué características físicas y químicas presentan los residuos de frutas generados en los mercados locales y en las viviendas de nuestra ciudad?
- ¿Qué características físicas y químicas presenta el biocombustible sólido obtenido a partir de los residuos de frutas generados en los mercados locales y en las viviendas de nuestra ciudad?
- ¿Cómo obtener biocombustible sólido a partir de residuos sólidos de fruta?

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Determinar las características físicas y químicas de los residuos de frutas
- Determinar los datos para la curva de velocidad de secado de las diferentes materias primas estudiadas, para obtener biocombustible sólido.
- Determinar material volátil, porcentaje de ceniza, porcentaje de carbón fijo: de las muestras obtenidas.
- Determinar analíticamente el poder calorífico de los pellets obtenidos

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

- Gabriel B. et al, (2018), en su trabajo realizado: “SCENARIOS AND PROSPECTS FOR THE USE OF BIOFUELS IN BRAZIL”. sostienen que la sostenibilidad es un objetivo importante para el desarrollo del país sin efectos negativos sobre el cambio climático, unido a la escasez y la inestabilidad en los precios de los combustibles fósiles, hace atractivo el uso de varias biomásas agrícolas, forestales e industriales que pueden sufrir procesos de combustión para la producción de energía renovable. , ya sea en su forma natural, prensada en gránulos o briquetas densas, o después de la conversión termoquímica mediante gasificación, pirólisis, licuefacción, carbonización.
- Czekala S, et al, (2018): , en su trabajo: “EL VALOR ENERGÉTICO Y LA EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS PRODUCIDOS A PARTIR DE ESTIÉRCOL Y ASERRÍN (WOJCIECH)”. manifiestan que, las fuentes de energía primaria tienen depósitos limitados y su explotación tiene un impacto negativo en el medio ambiente. La producción de biocombustibles es un método eficiente y rentable de producción de energía respetuosa con el medio ambiente en términos de razones económicas. En los últimos años se puede notar el uso de fuentes de energía renovable (RES) en el balance energético de Polonia. El principal sector en el que se puede observar un crecimiento dinámico es el mercado de la biomasa, en particular el mercado de los biocombustibles sólidos.

El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis económico y energético de la producción de briquetas y pellets. Los resultados obtenidos de los análisis económicos han demostrado que la producción individual de biocombustibles sólidos a partir de estiércol es más rentable que el uso de aserrín como sustrato. Los costos de producir biocombustibles sólidos a partir de la fracción sólida de la pulpa digerida, así como su valor calorífico, hacen que el sustrato en industrias de extractos, jugos y concentrados de frutas, vinos, champán, etc, se utilice para producir energía.

- Esa Kari Vakkilainaan (2017), presentan el artículo: “BIOCOMBUSTIBLE Y COMBUSTION”. Indica que la biomasa solida se utiliza como fuente de energía renovable para reemplazar los combustibles fósiles no renovables. La combustión de biomasa en lugar de combustibles fósiles reduce las emisiones de dióxido de carbono. El uso de biomasa solida es una forma de aumentar la independencia energética en muchas áreas, ya que varias biomásas pueden producirse localmente, mientras que los combustibles fósiles a menudo se importan. La combustión de biomasa puede verse en cuatro pasos: primero se seca. Segundo, a medida que aumenta la temperatura de la superficie, la biomasa comienza a generar compuestos orgánicos, que salen a través de los micro poros en el combustible. Luego aparecen las llamas hasta que la combustión de carbón restante (en su mayoría con carbón) se hace cargo y las partículas de combustible brilla. Por último la ceniza restante sufre más reacciones dependiendo del entorno.
- Nona Merry M. Mitan; et al (2018), exponen su trabajo:” RENDIMIENTO DE LOS AGLUTINANTES EN BRIQUETADO DE CÁSCARA DE DURIAN (FRUTA QUE CRECE EN LOS ÁRBOLES CONOCIDOS COMO DURIO, EN EL SUDESTE ASIÁTICO) COMO UN BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO” indicando que, como consecuencia de un aumento en la temporada de durian en un año, muchas cáscaras de durian se convierten en basura. Sin embargo, los contenidos valiosos en la cáscara de durian, a saber, la lignina y la celulosa, se eliminan. Estos contenidos tienen alta posibilidad de ser modificados como biocombustible. El propósito de este estudio es investigar el efecto de los aglutinantes en el briquetado de la piel de durian, particularmente la modificación de la composición del almidón como aglutinante. En este estudio, la cáscara de durian se trató por secado, molienda y carbonización a 370 °C. Los aglutinantes eran almidón e hidróxido de calcio. La relación entre la cáscara de durian y varios aglutinantes fue del 4% del peso. Al unirse con el almidón, la relación en peso de almidón y agua como disolvente se modificó en 1: 4, 1: 8 y 1:12 respectivamente.

- Konstantinos K, et al, (2017) en su obra: “DETERMINACIÓN RÁPIDA DE LAS PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE EN MEZCLAS DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO” manifiestan que los biocombustibles sólidos se caracterizan por propiedades altamente variables que dependen principalmente del tipo de biomasa, el lugar de origen, el pre procesamiento del combustible y las técnicas de manejo, etc. Por lo tanto, su utilización en procesos de conversión de energía termoquímica, es decir, combustión, gasificación, pirolisis; es bien desafiante, y puede dar como resultado un aumento de la producción de emisiones, fuertes inestabilidades en el proceso, menor eficiencia de conversión y menor calidad del producto final, etc.

El conocimiento de la composición real de combustible del material alimentado a la unidad de conversión de energía se limita a Mediciones indirectas continuas del contenido de humedad y muestreo periódico de combustible que proporciona la composición elemental. Dado que las condiciones operativas de una unidad de proceso requieren una regulación continua, esta información no es suficiente para el control del proceso y la optimización del rendimiento, especialmente cuando se consideran combustibles muy heterogéneos. Por esta razón, se necesita un método de medición rápido y no destructivo para la caracterización de las propiedades del combustible.

- Charline Bonatto, et al (2020) en el artículo que representa: “BIOMASS TO BIOENERGY RESEARCH: CURRENT AND FUTURE TRENDS FOR BIOFUELS”. Los investigadores de este trabajo, de varias disciplinas comenzaron trabajar con el objetivo común de mitigar impactos ambientales sin obstaculizar desarrollo humano; por el contrario, el foco resultó ser un desarrollo sostenible. En este contexto se volvió fundamental realizar investigación sobre formas alternativas y renovables de energía. De este concepto surgió el estudio de bioenergía., el término bioenergía se refiere al uso de productos biológicos (o biomasa) específicamente con fines energéticos, es decir, el uso de biomasa para la generación de electricidad y calor, así como la conversión de biomasa a secundaria biocombustibles para su uso en el sector del transporte. Solo el 14% de la matriz energética mundial proviene de fuentes renovables, con biomasa que representan el 70% de esta cantidad. África tiene la mayor parte de su

suministro total de energía, con un 48,8% proveniente de renovables, América ocupa el segundo lugar, con un 12,7%, y Europa el último continente, con solo el 10,5%. África es también el continente líder en términos de biomasa suministro de energía: 95,8% de su total el suministro de energía renovable proviene de fuentes basadas en biomasa. En este sentido Asia aparece en segundo lugar, con el 21,8% de su energía, a partir de materias primas renovables.

- Edgard Gnansounou, et al (2020), presentan el trabajo: “USING AGRICULTURAL RESIDUES FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION BIOFUELS IN 2050: CASE OF WEST AFRICA”. indicando que este artículo se centra en el uso de biomasa para producir combustibles de transporte como gas natural sintético, bioetanol y electricidad en un escenario sostenible en África Occidental en 2050. El objetivo de este trabajo fue evaluar la viabilidad de producir dichos biocombustibles utilizando residuos agrícolas como materia prima en el área estudiada. El potencial de biomasa de diez residuos agrícolas se estimó, utilizando datos de la FAO. Las opciones fueron analizadas con el fin de generar carteras de combustibles de transporte en base a indicadores energéticos, disponibilidad de biomasa y escenarios de progreso tecnológico. La asignación óptima varió de un país a otro, mostrando una compensación justa entre las funciones objetivo. La biomasa es una fuente importante de energía y forrajes en África, donde más del 90% de la madera recolectada se consume para cumplir con las necesidades de energía primaria y el pastoreo desempeñan un papel fundamental.. El uso de biomasa se ha diversificado con mayor incremento en demandas de energía y forrajes que se intensifican por la falta de acceso a fuentes de energía modernas y eficientes y dietas concentradas en precios asequibles. Los estudios sobre cambios en el uso y la cobertura de la tierra mostraron una reducción significativa de áreas de vegetación natural en esta área debido a su alta conversión a tierras de cultivo para garantizar la suficiencia alimentaria para las poblaciones en crecimiento. En este trabajo se realizó un análisis energético para evaluar la disponibilidad de residuos agrícolas para satisfacer la demanda energética de transporte en WA para 2050. El estudio se basa en prospectiva sostenible escenarios en los que los vehículos se alimentan con E85, SNG y electricidad.

- Carolina Monteiro Santos, et al (2015), presentan el trabajo: “APPLICATION OF ORANGE PEEL WASTE IN THE PRODUCTION OF SOLID BIOFUELS AND BIOSORBENTS”. indican que, el sector de la agroindustria ha crecido cada vez más para satisfacer el aumento de la demanda de alimentos debido al crecimiento de la población. En este contexto, Brasil, que tiene su economía basada en la agroindustria, contribuye sustancialmente a la generación de residuos resultantes de los procesos de producción. Estos residuos, aparentemente sin aplicación viable, puede resultar en diversas adversidades ambientales debido a una eliminación inadecuada. Varios estudios sugieren diferentes aplicaciones de tales desechos para minimizar impactos ambientales, por ejemplo, su uso como recurso energético. Uno de las principales ventajas del uso de biomasa es dirigir su uso en combustión en hornos, calderas, y otros. Este procedimiento se caracteriza por una reacción exotérmica muy rápida entre el combustible y el oxidante, seguido de la liberación de calor, esto, sin embargo, tiene baja eficiencia. Esta observación ha aumentado la atención basada en el estudio para la mejora de tecnologías para aumentar la eficiencia de los procesos de conversión de biomasa, así que producen un mayor valor mediante la adición de subproductos como los biocombustibles. El uso de agro residuos industriales en termoeléctricos para complementar la capacidad de energía de un país pueden ayudan a resolver la creciente preocupación del suministro mundial de energía, y es un esfuerzo viable y una alternativa sostenible.
- Leticia Casas-Godoy, et al (2020), en su trabajo: “BIOFUELS”. mencionan que Los biocombustibles son una parte importante de la bioeconomía; generan 3.045 mil millones de puestos de trabajo en todo el mundo. De los cuales 1931 mil son de biocombustibles líquidos, 779,5 mil de biogás y 334,3 mil de biocombustibles sólidos. La biomasa se ha utilizado para calentar y cocinar desde que el hombre descubrió el fuego y continúa haciéndolo hoy, y los biocombustibles sólidos se han utilizado tradicionalmente para producir calor en zonas rurales o en países en desarrollo, pero en esta sección, nos referimos a los biocombustibles sólidos "modernos" como se describe en ISO 16559 para la terminología, definiciones y descripciones de biocombustibles sólidos; ISO 17225 para especificaciones y clasificaciones de biocombustibles sólidos, y la norma EN 15234 para el

aseguramiento de la calidad de los biocombustibles sólidos también es importante en este ámbito.

Para obtener biocombustibles sólidos de alta calidad y alta energía, la materia prima es necesario el pre tratamiento de la biomasa. El pre tratamiento de biomasa sólida se utiliza para mejorar las propiedades físicas y químicas como el tamaño de las partículas, la humedad contenido, densidad y contenido energético. Además, el pre tratamiento de biomasa facilita el manejo, almacenamiento y transporte de biocombustibles sólidos en toda la cadena bioenergética.

- [Alberto-Jesús Perea-Moreno, et al \(2018\)](#), en su artículo: “MANGO STONE PROPERTIES AS BIOFUEL AND ITS POTENTIAL FOR REDUCING CO2 EMISSIONS”. explican que el mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas más cultivadas en los trópicos, así como otras áreas costeras de clima subtropical, que existen alrededor de 160 variedades de mangos en el mundo, cultivadas en más de 90 países. Su consumo ha aumentado considerablemente en todo el mundo durante las últimas décadas. En el mundo la producción de estas frutas ha ido en aumento en los últimos años, con una producción de más de 46 millones de toneladas, en 2016, un 23% por encima de la producción en 2009. India es el mayor productor del mundo por un amplio margen: más del 28% del total producido en todo el mundo en 2016. A continuación, China, Tailandia e Indonesia produjeron 3,61, 2,25 y 1,83 millones de toneladas en ese mismo año, respectivamente. Potencial alto contenido energético de la biomasa residual producida en el sector del mango es poco conocido. El peso del hueso del mango representa 30 a 45% del peso total de la fruta que desaparece completamente como desperdicio. Por tanto, el objetivo de este trabajo es describir las cualidades energéticas del hueso de mango y evaluar estos parámetros para establecer su idoneidad como biocombustible sólido para la producción de energía térmica. Para lograr este objetivo, se consideraron los siguientes parámetros analizados: humedad (59,70%), poder calorífico superior (18,05 MJ / kg), poder calorífico inferior (1727 MJ / kg), composición elemental (48.26% C, 44.92% O, 3.48% H, 1.041% N, 0.086% S, 0.070% CL), contenido de ceniza (2,14%) o contenido de aceite (3%). Como principal conclusión, los hallazgos de este trabajo allanan el camino para el uso de hueso de mango como

biocombustible en Instalaciones de calefacción industrial. Por otro lado, este biocombustible ha demostrado ser útil para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los países productores. En términos relativos, ha resultado ser particularmente significativo en gran parte de África Central (Sudán, Nigeria, Tanzania, Kenia o Congo) y Madagascar, pudiendo reducir por encima del 0,02 % de sus emisiones de CO₂.

1.2. Bases teóricas

Entre los residuos de frutas al ser utilizado para obtener biocombustible sólido: Cocona, piña, plátano en sus diferentes variedades, aguaje, papaya, Camú Camú, mango, limón, etc.

1.2.1. Briqueteado

Son biocombustibles sólidos para generar calor, al ser empleados en cocinas, chimeneas, hornos, calderas; es un producto ecológico, catalogado como bioenergía, es sustituto de la leña en zonas rurales, su forma puede ser en forma cilíndrica o como ladrillo.

Las principales ventajas de las briquetas son:

- ✓ Las briquetas son prensadas sin sustancias aglutinantes, únicamente a presión.
- ✓ La reducción de volumen de las briquetas es de, según el tipo de material, hasta 1:20.
- ✓ Las briquetas se fabrican y se venden durante todo el año, se almacenan en
- ✓ verano, utilizando mínimos espacios, 3.000-4.000 kg/m².
- ✓ Protegidas del contacto directo con el agua, las briquetas pueden ser
- ✓ almacenadas durante años sin que por ello pierdan consistencia.
- ✓ Las briquetas tienen un alto valor calorífico.
- ✓ La combustión de la briqueta es tranquila y constante, no produce humos.
- ✓ Las briquetas no causan prácticamente cenizas volátiles.
- ✓ Las briquetas se pueden quemar en cualquier estufa doméstica o industrial

- ✓ aparte de otras muchas opciones como pizzerías, asadores de carne, fábricas de pan industrial.
- ✓ Las briquetas son transportables y limpias en su manipulación.
- ✓ La fabricación de briquetas es un gran negocio dado que generalmente la materia prima se obtiene de forma gratuita o a un coste mínimo.

1.2.2. Composición de las briquetas

Son 100% naturales, están hechos de residuos madereros (aserrín), bagazo de caña de azúcar, cascara de frutas, cascarilla de arroz, etc. Los aglutinantes que tienen los biocombustibles sólidos, se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos.

Son orgánicos: albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, dextrina, gelatinas, ligninas – lignosulfatos, melazas, aserrín, resinas.

Son inorgánicos: alumbre, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escoyola, silicato de sodio, sílice y yeso.

1.3. Definición de términos básicos

1.3.1. Densidad de las briquetas

La densidad de las briquetas, está en función de la densidad de la cual proviene, cuanto mayor es la densidad de la materia, mayor será la densidad del producto obtenido:

1.3.2. Poder calorífico

Es una cierta cantidad de energía que se separa cuando existe una reacción de combustión. Así “el poder calorífico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal”, se sabe que el poderío del calor nos va a indicar que si son buenos o tal vez malos combustibles (Ríos Inés, et al, 2015).

1.3.3. Humedad

La humedad de la briqueta es una peculiaridad que está basada en función al secado de la materia prima, ya que este proceso se puede hacer de dos formas; tanto natural que es al ambiente; o de manera artificial utilizando algún tipo de horno; después para el proceso de briqueteado, la materia prima poseerá una humedad alrededor del 20%, ya que después de la prensada disminuirá el porcentaje de humedad a la salida de la prensa

1.3.4. Inflamabilidad o temperatura

Los combustibles (sólidos, líquidos o gaseosos) no podrán arder si no han alcanzado la temperatura de inflamación o temperatura de ignición. Existen dos temperaturas de ignición, la de auto ignición y la de ignición manejada. La primera es la temperatura mínima en la que una mezcla de gas y aire se enciende, debido a que ha llegado a una temperatura en la que no es necesaria la chispa o llama para provocar fuego. La temperatura de ignición manejada es la temperatura a la cual una mezcla de gas y aire se encienden debido a la presencia de una llama o chispa

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

- Mediante la recolección de residuos de frutas, cortado, molido, secado, mezclado con aglutinante, compresión; aplicando métodos analíticos, métodos calorimétricos, es posible producir biocombustible sólido (pellets), a partir de residuos de frutas.

Tabla 1. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Variable Independiente	Las cáscaras de frutas también se proponen como fuente de energía renovable, que propicia un menor efecto de contaminación, genera subproductos aprovechables y fomenta un desarrollo sustentable.	Material volátil Ceniza Poder calorífico	Tiempo de combustión de los pellets Dimensiones de los pellets	Densidad Humedad Poder calorífico Largo Ancho alto	g/cm ³ % kcal/kg Kcal/kg cm cm cm
Variable Dependiente	Son aquellos combustibles (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas y forestales, pellets, briquetas) que mediante la combustión, generan calor y electricidad.	Poder calorífico pellets Tiempo de combustión	Capacidad calorífica Tiempo de combustión	Poder calorífico Tiempo	Kcal/kg min

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

El presente trabajo, tiene **enfoque cuantitativo experimental**, porque se estudia obtener pellets, para luego analizar el poder calorífico y también las emisiones que realizaran por la combustión. En cuanto al diseño es una investigación descriptiva, De acuerdo al nivel de profundización en el objeto de estudio, el tipo de investigación es **descriptivo correlacional**, porque tal como el nombre lo dice, se describió en detalle los fundamentos (secado, molienda, procesado, prensado, humedad, ceniza, poder calorífico, etc) que se requieren para obtener un biocombustible que permita disminuir las emisiones de dióxido de carbono en la quema de combustibles.

La metodología del presente trabajo, tiene las siguientes fases:

- Recopilación de la materia prima (cáscara de piña, cocona)
- Secado de la materia prima
- Molienda
- Tamizado de la materia prima
- Preparación de las mezclas (en partes iguales de las tres materias primas).
- Agregado del aglomerante
- Proceso de secado
- Proceso de prensado
- Caracterización de las propiedades físico-químicas de los pellets
- Evaluación del poder calorífico de los pellets.
- Resultados
- Discusión de los resultados
- Recomendaciones

3.2. Diseño muestral

La población para el presente estudio está referida al conjunto de todos los residuos de frutas encontrados en los mercados de Belén, central, y mercado modelo (población infinita). El tipo de muestreo es probabilístico, no alterando la variable independiente; se recogieron muestras al azar de residuos de frutas de los diferentes mercados de la ciudad de Iquitos, 500g en el mercado Belén, 500g del mercado central y 500 g del mercado modelo.

3.3. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Son procedimientos o actividades realizadas con el propósito de recabar la información necesaria para el logro de los objetivos de una investigación, se refiere al como recoger los datos; la principal técnica que hemos utilizado es:

3.3.1. Observación:

Se desarrolla en grupo en el campo, los instrumentos empleados fueron:

- Check List
- Cuaderno de apuntes

Técnicas de recolección de datos:

- Técnicas
- Se realizaron los pasos a seguir durante la observación de la toma de muestras y los análisis de laboratorio.
- Procedimiento.

3.3.2. Etapa de campo

El recojo de muestras se realizó en bolsas plásticas, desde los recipientes donde están depositados los residuos de los mercados (Belén, Central y Modelo), de la ciudad de Iquitos, para posteriormente ser llevados al laboratorio.

3.3.3. Etapa de laboratorio

Los parámetros no determinados en el campo, se realizaron en el laboratorio, durante esta etapa se realizaron las siguientes actividades: secado, molienda, tamizado, prensado, poder calorífico de los pellets.

3.3.4. Protocolo de monitoreo en laboratorio.

Las muestras obtenidas en campo (mercados Belén, Central y Modelo), fueron llevados al laboratorio de las plantas piloto de la Facultad de Ingeniería Química, donde inicialmente fueron pesados en una balanza analítica, para posteriormente ser depositados en placas de vidrio, para proceder al proceso de secado de todas las muestras obtenidas en campo, el siguiente paso es el la molienda de la materia prima, este procedimiento se realizó en una máquina de moler casera, luego se procedió a la mezcla de toda las muestras molidas y ser tamizados, luego ser transformados en pellets, para proceder a obtener su poder calorífico en el laboratorio de físico química de la Facultad de Ingeniería Química

3.4.. Procesamiento y análisis de datos

La materia prima utilizada, son las cascaras de piña, naranja y cocona, después de recolectar en los diferentes mercados, se procedió al trabajo experimental en el laboratorio, el diagrama de bloques, nos indicara las diferentes etapas del proceso hasta obtener el producto final.

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA OBTENER PELLETS

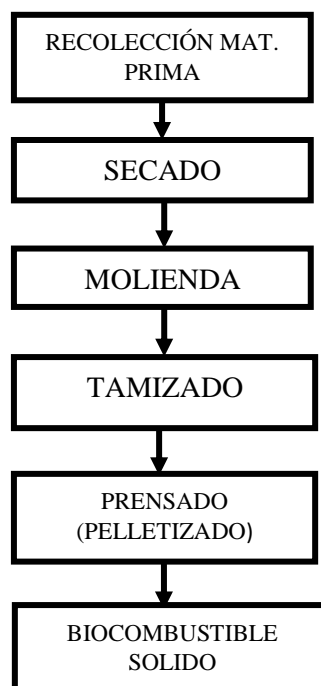


Diagrama 01. Elaboración propia

3.5. Secado

En este trabajo, se determinará experimentalmente el proceso de deshidratación de la cáscara de la naranja, en un secador convencional no convectivo con calentamiento eléctrico.

Se utilizaron los siguientes equipos:

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Recipientes de vidrio (placas petri), porcelana
- ✓ Equipo de secado
- ✓ Calculadora científica

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA DETERMINAR LA HUMEDAD



Diagrama 02. Elaboración propia

Se realizó el secado por espacio de 120 min, en el equipo de secado de la planta piloto de alcohol de la facultad de ingeniería química

3.6. Secado de la cascara de piña

Los datos se muestran en la siguiente tabla.

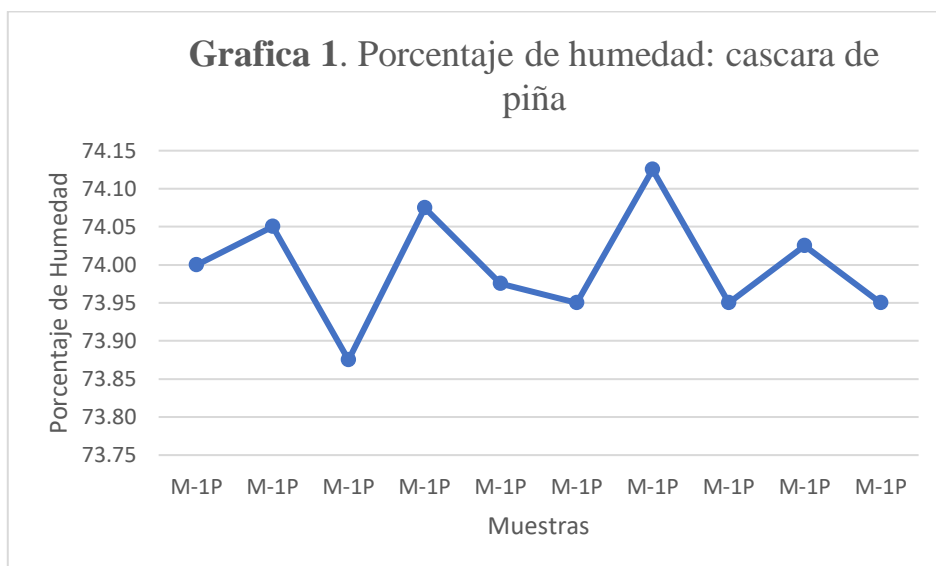
Tabla 2. Datos para obtener humedad: cascara piña

MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	FRACC HUM	% HUMEDAD
M-1N	400	104,00	0,7400	74,00
M-2N	400	103,80	0,7405	74,05
M-3N	400	104,50	0,7388	73,88
M-4N	400	103,70	0,7408	74,08
M-5N	400	104,10	0,7398	73,98
M-6N	400	104,20	0,7395	73,95
M-7N	400	103,50	0,7413	74,13
M-8N	400	104,20	0,7395	73,95
M-9N	400	103,90	0,7403	74,03
M-10N	400	104,20	0,7395	73,95

Ejemplo de Cálculo:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \left(\frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \right) \quad (1)$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = \left(\frac{400 - 104,00}{400} \right) \times 100 = 74,00\%$$



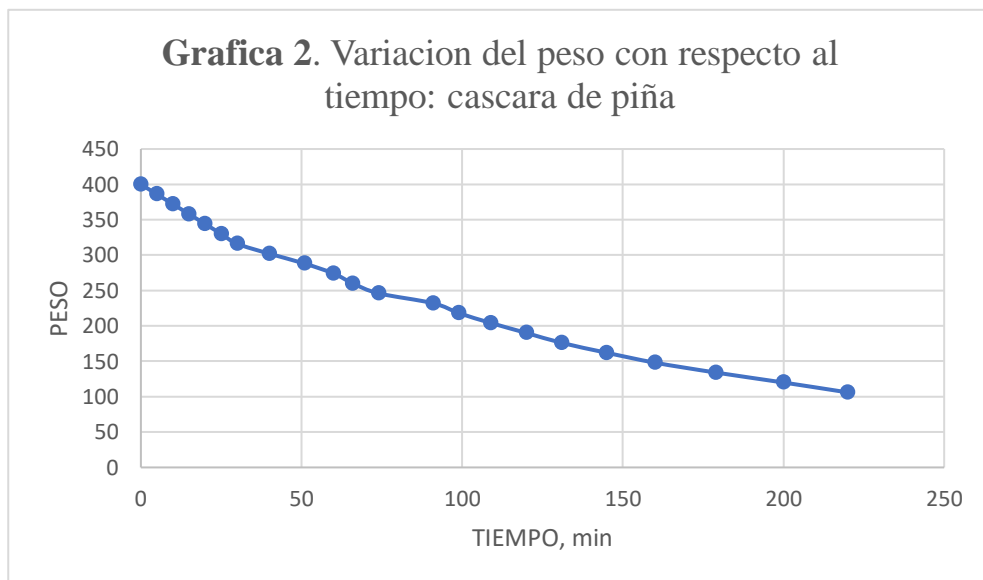
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Variación del peso con respecto al tiempo cáscara de piña

Tiempo (Min)	PESO.INICIAL
0	400
5	386
10	372
15	358
20	344
25	330
30	316
40	302
51	288
60	274
66	260
74	246
91	232
99	218
109	204
120	190
131	176
145	162
160	148
179	134
200	120
220	106

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ HUMEDAD} = \left(\frac{150 - 106,00}{150} \right) \times 100 = 74,00\%$$



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se seca totalmente la muestra a temperatura más elevada y su peso se reduce a 0,071 kg, la temperatura fue de 110°C. Las dimensiones de la muestra de piña, fueron de 71 g (0,071 kg), estos datos nos servirán, para calcular la velocidad de secado, empleando la siguiente fórmula:

$$w = \frac{S \Delta X}{A \Delta \theta} \quad (2)$$

Siendo:

S: Sólido completamente seco= 0,071 kg

A: Área a secar, cuyas dimensiones son: 20 cm * 30 cm* 1 cm; considerando los dos lados a secar: (20)*(30)*(2)=1200 cm² = 0,12 m²

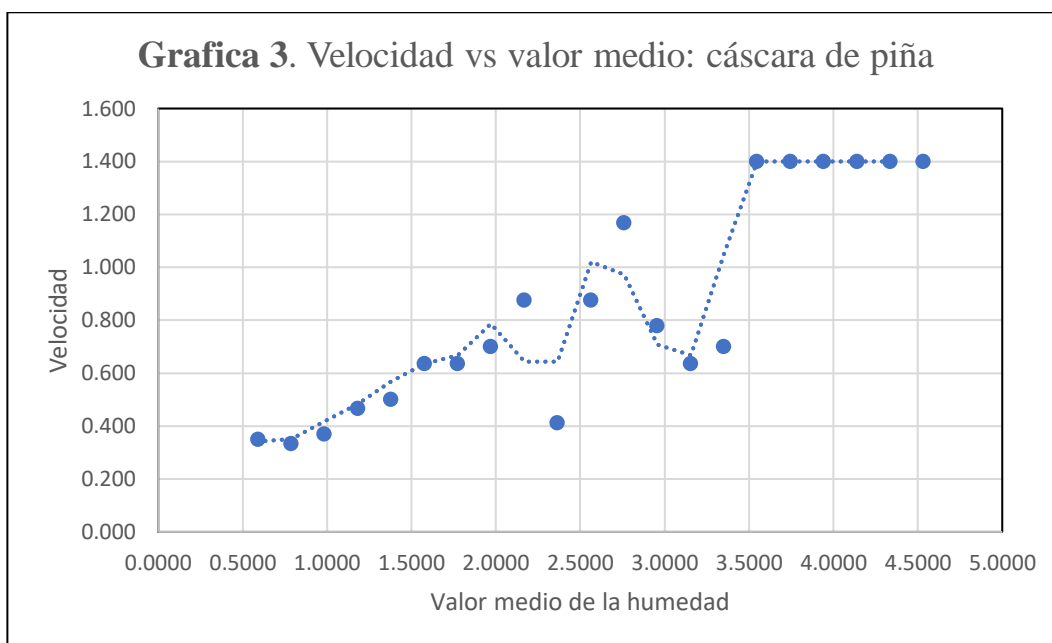
Después de 5 min (0,083 h), la humedad es de:

$$w = \frac{(0,071) (4,634 - 4,535)}{(0,12) (0,083 - 0,0)} = 0,70$$

Tabla 4. Datos para la curva de velocidad de secado: cáscara de piña

Tiempo: min	Tiempo: h	Peso Total kg	Humedad Total Kg	X kg/kg	Valor Medio	Velocidad:W kg/(h)(m ²)
0	0,000	0,4	0,329	4,634		
5	0,083	0,386	0,315	4,437	4,5352	1,400
10	0,167	0,372	0,301	4,239	4,3380	1,400
15	0,250	0,358	0,287	4,042	4,1408	1,400
20	0,333	0,344	0,273	3,845	3,9437	1,400
25	0,417	0,33	0,259	3,648	3,7465	1,400
30	0,500	0,316	0,245	3,451	3,5493	1,400
40	0,667	0,302	0,231	3,254	3,3521	0,700
51	0,850	0,288	0,217	3,056	3,1549	0,636
60	1,000	0,274	0,203	2,859	2,9577	0,778
66	1,100	0,26	0,189	2,662	2,7606	1,167
74	1,233	0,246	0,175	2,465	2,5634	0,875
91	1,517	0,232	0,161	2,268	2,3662	0,412
99	1,650	0,218	0,147	2,070	2,1690	0,875
109	1,817	0,204	0,133	1,873	1,9718	0,700
120	2,000	0,19	0,119	1,676	1,7746	0,636
131	2,183	0,176	0,105	1,479	1,5775	0,636
145	2,417	0,162	0,091	1,282	1,3803	0,500
160	2,667	0,148	0,077	1,085	1,1831	0,467
179	2,983	0,134	0,063	0,887	0,9859	0,368
200	3,333	0,12	0,049	0,690	0,7887	0,333
220	3,667	0,106	0,035	0,493	0,5915	0,350

Fuente: Elaboración propia



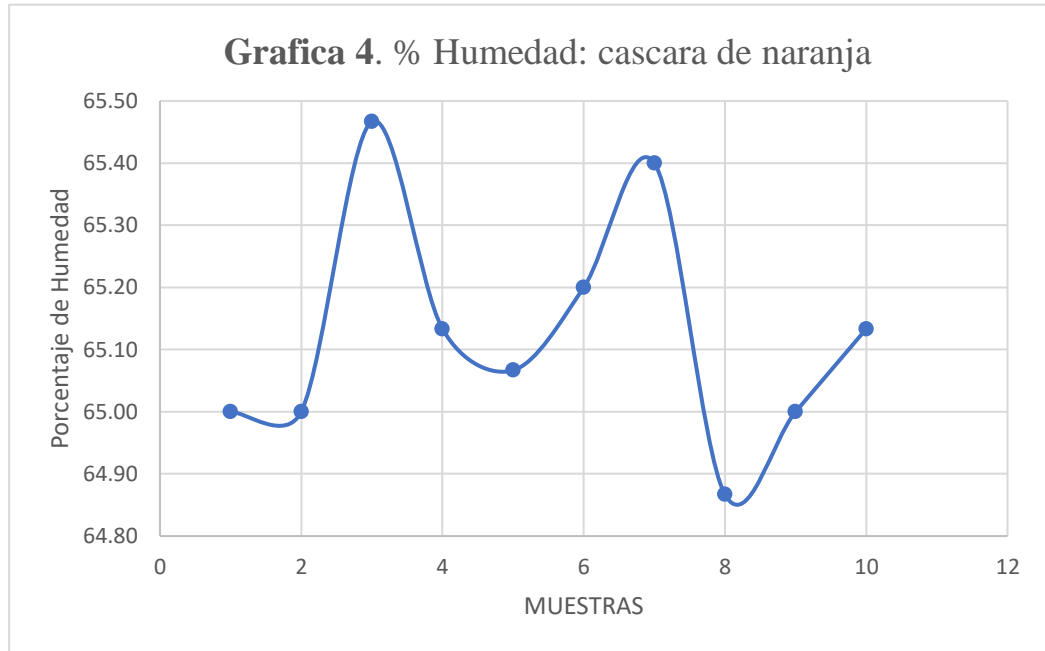
Fuente: Elaboración propia

3.7. Secado de la cascara de naranja

Tabla 5. Datos para obtener humedad, cascara de naranja

MUESTRA	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL (g)	FRACC.HUM	% HUMEDAD
M-1N	150	52,50	0,6500	65,00
M-2N	150	52,50	0,6500	65,00
M-3N	150	51,80	0,6547	65,47
M-4N	150	52,30	0,6513	65,13
M-5N	150	52,40	0,6507	65,07
M-6N	150	52,20	0,6520	65,20
M-7N	150	51,90	0,6540	65,40
M-8N	150	52,70	0,6487	64,87
M-9N	150	52,50	0,6500	65,00
M-10N	150	52,30	0,6513	65,13

Fuente. Elaboración propia

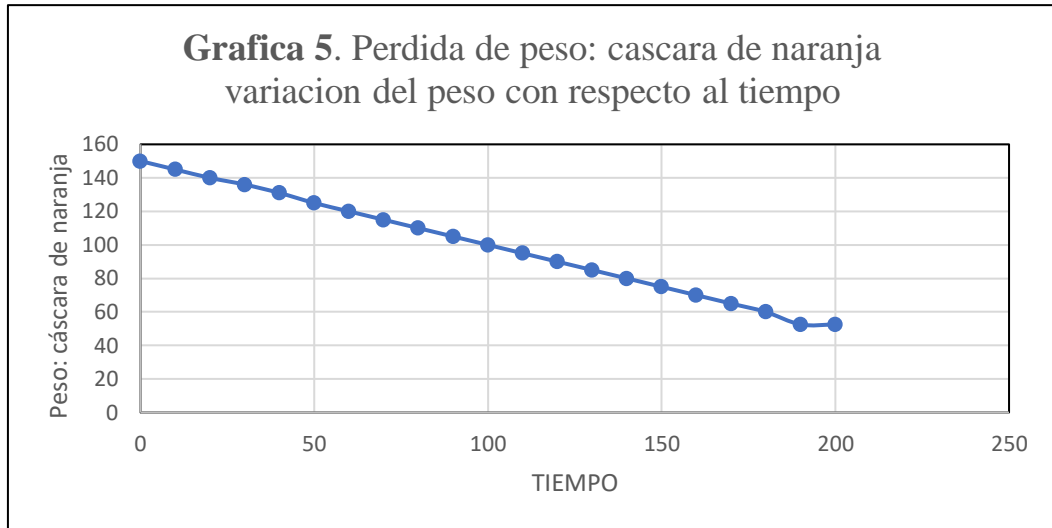


Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Variación del peso con respecto al tiempo: cascara de naranja

TIEMPO	PESO
0	150
10	145
20	140
30	136
40	131
50	125
60	120
70	115
80	110
90	105
100	100
110	95
120	90
130	85
140	80
150	75
160	70
170	65
180	60
190	52,5
200	52,5

Fuente. Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se seca totalmente la muestra a temperatura más elevada y su peso se reduce a **0,04125 kg**, la temperatura fue de **110°C**.

- Las dimensiones de la muestra de cáscara de naranja (01 naranja):
 - Longitud : 115 cm
 - Ancho : 2 cm
 - Área : 115* 2= 230 cm²
- Considerando los dos lados, tenemos que el área de la cáscara de 01 naranja es de: 230*2= 460 cm².
- Peso de la cáscara de 01 naranja: 32 gr.
- Por lo tanto, necesitamos: 150/32 = 4,6875 naranjas, para completar los 150 g de cáscara de naranja.
- El área total de la cáscara de 4,6875 naranjas es de: 460*4,6875= 2156,25 cm² (0,21m²)

Estos datos nos servirán, para calcular la velocidad de secado, empleando la siguiente formula:

$$w = \frac{S \Delta X}{A \Delta \theta} \quad (3)$$

Siendo:

S : Sólido completamente seco= 0,04125 kg

A : 0,21 m²

ΔX : 2,636 – 2,5515 = 2,575

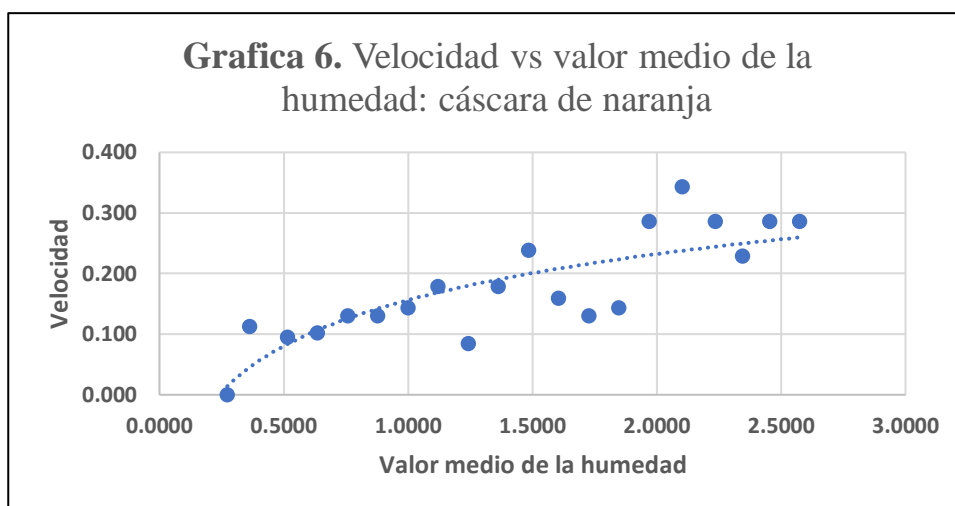
Δθ = 5 min – 0 min = 5 min (0,083 h)

Los datos, se resumen en la siguiente tabla

Tabla 7. Datos para la curva de velocidad de secado: cascara de naranja

Tiempo: min	Tiempo: h	Peso Total kg	Humedad Total Kg	X kg/kg	Valor Medio	Velocidad:W kg/(h)(m2)
0	0,000	0,15	0,10875	2,636		
5	0,083	0,145	0,10375	2,515	2,5758	0,286
10	0,167	0,14	0,09875	2,394	2,4545	0,286
15	0,250	0,136	0,09475	2,297	2,3455	0,229
20	0,333	0,131	0,08975	2,176	2,2364	0,286
25	0,417	0,125	0,08375	2,030	2,1030	0,343
30	0,500	0,12	0,07875	1,909	1,9697	0,286
40	0,667	0,115	0,07375	1,788	1,8485	0,143
51	0,850	0,11	0,06875	1,667	1,7273	0,130
60	1,000	0,105	0,06375	1,545	1,6061	0,159
66	1,100	0,1	0,05875	1,424	1,4848	0,238
74	1,233	0,095	0,05375	1,303	1,3636	0,179
91	1,517	0,09	0,04875	1,182	1,2424	0,084
99	1,650	0,085	0,04375	1,061	1,1212	0,179
109	1,817	0,08	0,03875	0,939	1,0000	0,143
120	2,000	0,075	0,03375	0,818	0,8788	0,130
131	2,183	0,07	0,02875	0,697	0,7576	0,130
145	2,417	0,065	0,02375	0,576	0,6364	0,102
160	2,667	0,06	0,01875	0,455	0,5152	0,095
179	2,983	0,0525	0,01125	0,273	0,3636	0,113
200	3,333	0,0525	0,01125	0,273	0,2727	0,000

Fuente: Elaboración propia



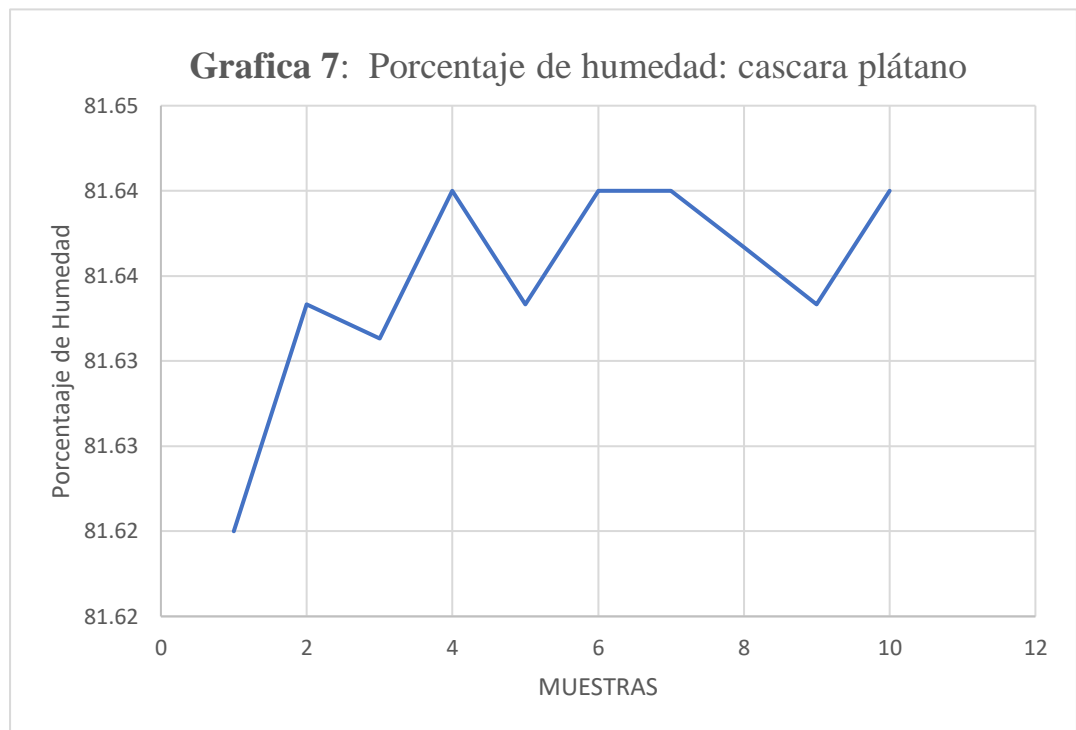
Fuente: Elaboración propia

3.8 Secado de la cascara de plátano

Tabla 8. Datos para obtener humedad, cascara de plátano

MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	FRACC HUM	% HUMEDAD
M-1PL	150	27,57	0,8162	81,62
M-2PL	150	27,55	0,8163	81,63
M-3PL	150	27,55	0,8163	81,63
M-4PL	150	27,54	0,8164	81,64
M-5PL	150	27,55	0,8163	81,63
M-6PL	150	27,54	0,8164	81,64
M-7PL	150	27,54	0,8164	81,64
M-8PL	150	27,55	0,8164	81,64
M-9PL	150	27,55	0,8163	81,63
M-10PL	150	27,54	0,8164	81,64

Fuente: Elaboración propia

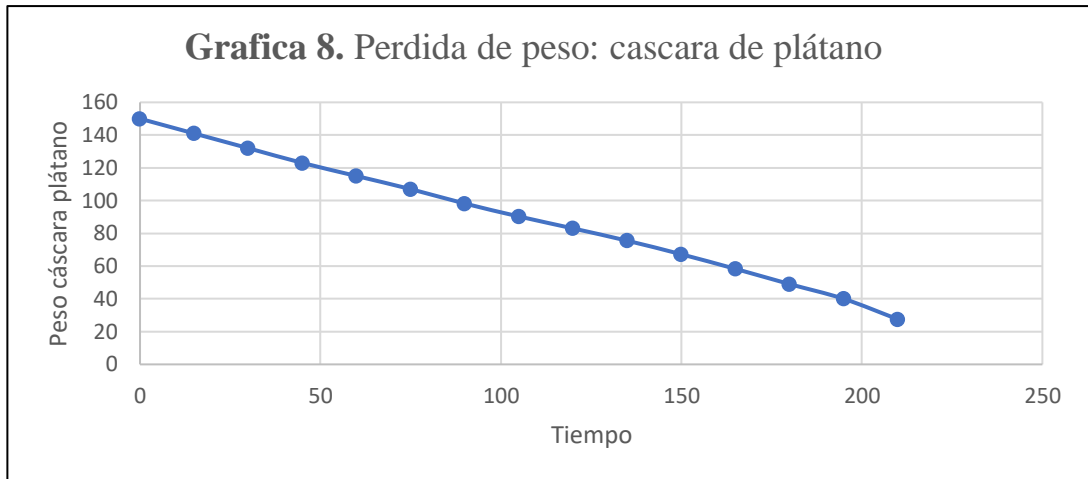


Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Variación del peso con respecto al tiempo: cascara de plátano

TIEMPO	PESO
0	150
15	142
30	133
45	124
60	118
75	109
90	100,5
105	93,2
120	84,6
135	77,2
150	68,5
165	59,2
180	48,5
195	27,2
210	27,5

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se seca totalmente la muestra a temperatura más elevada y su peso se reduce a **0,01257 kg**, la temperatura fue de **120°C**.

- Las dimensiones de la muestra de cáscara de naranja (01 naranja):

Longitud	: 19 <i>cm</i>
Ancho	: 4 <i>cm</i>
Área	: 19* 4= 76 <i>cm</i> ²
- Considerando los dos lados, tenemos que el área de la cáscara de 01 lonja de plátano es de 76*2= 152 *cm*².
- Peso de la cáscara de un fragmento de piel de plátano de 19 *cm* * 4 *cm* * 3*mm* de espesor: 24 *gr*.
- Por lo tanto, necesitamos: 150/24 = 6,25 fragmentos o lonjas de la cáscara de plátano, para completar los 150 *gr*. de cáscara de plátano.
- El área total de la cáscara de 6,25 fragmentos o lonjas de cáscara de plátano, es de 152 *cm*² * 6,25= 950 *cm*² (0,095 *m*²)

Estos datos nos servirán, para calcular la velocidad de secado, empleando la siguiente fórmula:

$$w = \frac{S \Delta X}{A \Delta \theta} \quad (4)$$

Siendo:

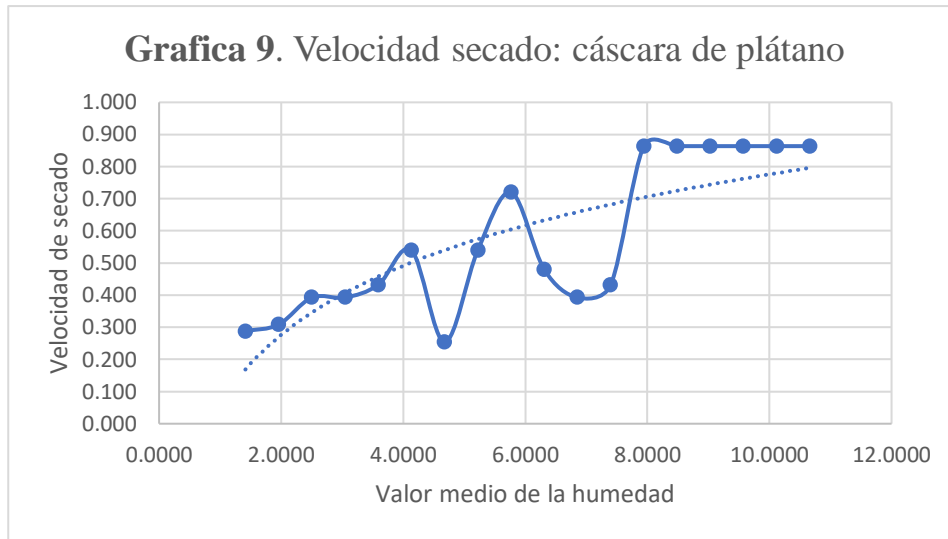
- S** : Sólido completamente seco= 0,01257 *kg*
- A** : 0,095 *m*²
- ΔX** : 2,636 – 2,5515 = 2,575
- Δθ** = 5 *min* – 0 *min* = 5 *min* (0,083 *h*)

Los datos, se resumen en la siguiente tabla

Tabla 10. Datos para la curva de velocidad de secado cáscara de plátano

Tiempo: min	Tiempo: h	Peso Total kg	Humedad Total Kg	X kg/kg	Valor Medio, H	Velocidad:W kg/(h)(m2)
0	0,000	0,15	0,13743	10,933		
5	0,083	0,143162	0,130592	10,389	10,6612	0,864
10	0,167	0,136324	0,123754	9,845	10,1172	0,864
15	0,250	0,129486	0,116916	9,301	9,5732	0,864
20	0,333	0,122648	0,110078	8,757	9,0292	0,864
25	0,417	0,11581	0,10324	8,213	8,4852	0,864
30	0,500	0,108972	0,096402	7,669	7,9412	0,864
40	0,667	0,102134	0,089564	7,125	7,3972	0,432
51	0,850	0,095296	0,082726	6,581	6,8532	0,393
60	1,000	0,088458	0,075888	6,037	6,3092	0,480
66	1,100	0,08162	0,06905	5,493	5,7652	0,720
74	1,233	0,074782	0,062212	4,949	5,2212	0,540
91	1,517	0,067944	0,055374	4,405	4,6772	0,254
99	1,650	0,061106	0,048536	3,861	4,1333	0,540
109	1,817	0,054268	0,041698	3,317	3,5893	0,432
120	2,000	0,04743	0,03486	2,773	3,0453	0,393
131	2,183	0,040592	0,028022	2,229	2,5013	0,393
145	2,417	0,033754	0,021184	1,685	1,9573	0,308
160	2,667	0,026916	0,014346	1,141	1,4133	0,288
179	2,983	0,020078	0,007508	0,597	0,8693	0,227
200	3,333	0,01324	0,00067	0,053	0,3253	0,206
220	3,667	0,006402	-0,006168	-0,491	-0,2187	0,216

Fuente: Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

3.9. Molienda

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

La molienda se realizó, en el molino de las plantas piloto de la Facultad de Ingeniería Química, que es un molino tipo martillo, que son equipos con una amplia capacidad en la cámara de molienda, vienen equipados con martillos intercambiables, el número de martillos varía de acuerdo al tamaño, así como la perforación de la criba.

El tamizado se realizó utilizando tamices de diferentes números (xx y xx), como se muestra en la siguiente figura.



- **Preparación de mezclas**

Se llevó a cabo la preparación de mezclas de los diferentes tipos de cáscaras, con diferentes porcentajes, utilizando como aglomerantes siguiendo el diseño de experimentos mostrado en la tabla 5, con una presión y un tamaño de partícula

específicos para cada experimento.

- **Fabricación de pellets**

Como resultado del diseño de experimentos se llega a de los diferentes biomásas, las cuales se muestran en la tabla 5; estas combinaciones dan como resultado los pellets que posteriormente se analizan.

Tabla 11. Combinación de cascaras para obtener pellets – presión de muestras

N° PELLETS	MAT. PRIMA	% de M.P.	PRESIÓN:
1	3 g de naranja	33,33	40
	3 g de piña	33,33	
	3 g de cocona	33,33	
2	2.5 g de naranja	33,33	
	3.5 g de piña	46,66	
	3 g de cocona	20,00	
3	3 g de naranja	20,00	
	5 g de piña	33,33	
	7 g de cocona	46,66	
4	7 g de naranja	46,66	
	5 g de piña	33,33	
	3 g de cocona	20,00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Dimensiones de los pellets

N° PELLETS	MAT PRIMA	DIAMETRO (mm).	ALTURA (mm)
1	3 g de naranja	20,00	27,5
	3 g de piña		
	3 g de cocona		
2	2.78 g de naranja	20,50	27,1
	3.5 g de piña		
	3 g de cocona		
3	2.8 g de naranja	20,58	27,3
	2.8 g de piña		
	3.5 g de cocona		
4	3.5 g de naranja	20,65	27,4
	5 g de piña		
	3 g de cocona		

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo de Cálculo:

Pellet 1: 3 gr. de residuo de naranja, 3 g de residuo de piña y 3 g de residuo de cocona.

Masa = 9,0 gr.

Diámetro (mm) = 20,0 mm

Altura = 27.5 mm

Cálculo del Volumen

$$V = \frac{\pi(20 \text{ mm})^2 \times 27.5 \text{ mm}}{4} = 8639,3725 \text{ mm}^3 \quad (5)$$

$$V = 8,639372 \text{ cm}^3$$

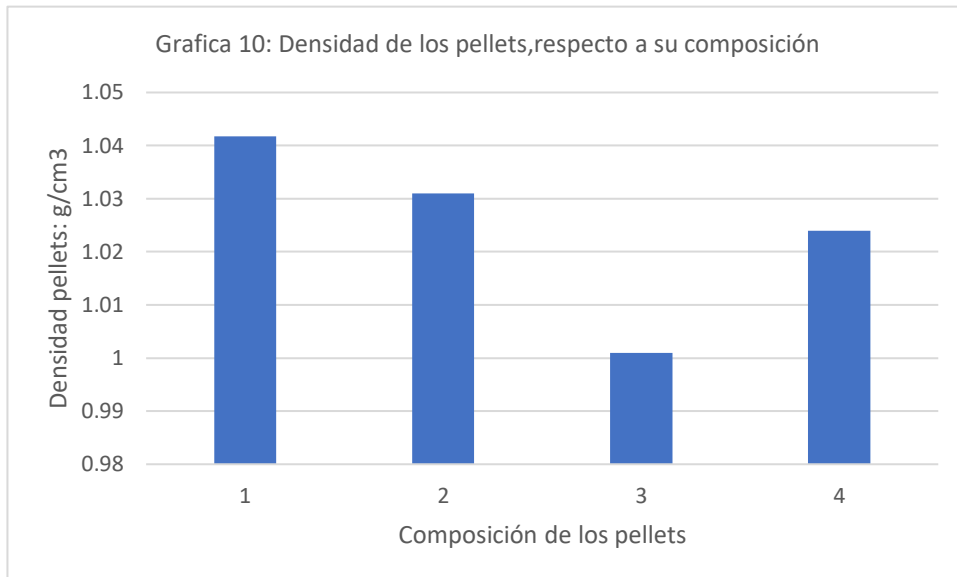
Cálculo de la densidad

$$\rho = \frac{9 \text{ gr}}{8,639371 \text{ cm}^3} \quad \rho = \frac{1,0417 \text{ gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 13. Densidad de los pellets

N°.PELLETS	MAT PRIMA	% de M.P.	DENSIDAD g/cm ³
1	3 g de naranja	33,33	1,0417
	3 g de piña	33,33	
	3 g de plátano	33,33	
2	2.78 g de naranja	29,95	1.031
	3.5 g de piña	37,71	
	3 g de plátano	32,32	
3	2.8 g de naranja	20,00	1,001
	2.8 g de piña	33,33	
	3.5 g de plátano	46,66	
4	3,5 g de naranja	37,23	1,024
	2,9 g de piña	30,85	
	3 g de plátano	31,91	

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

- **Humedad de los pellets**

Realizamos el siguiente procedimiento:

- a. Peso de la muestra
- b. Peso de la cápsula
- c. Someter a temperatura a 150°C x aproximadamente dos horas

Posteriormente calculamos el porcentaje de humedad, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso cápsula} + \text{Muestra}) - (\text{Peso cap} + \text{Muestra } 150^{\circ}\text{C})}{(\text{Peso Cápsula} + \text{Muestra}) - \text{Peso Cápsula}} \quad (6)$$

Tabla 14. Método para determinar la humedad de los pellets

	Peso Cápsula, gr.	Peso Cápsula + Muestra	Peso Cápsula + Muest. Seca	Peso de la Muestra	% Humedad
M-1	58,368	66,368	62,320	8,0	50,6
M-2	56,151	65,431	61,120	9,28	46,239
M-3	49,397	57,997	53,490	8,6	52,370
M-4	45,459	54,859	50,018	9,4	51,50

Fuente: Elaboración propia

- **Material volátil de los pellets**

Las muestras que se obtuvieron, con diferentes tipos de mallas, primero fueron pesadas, para posteriormente colocarlo en un mechero a una temperatura entre 90 y 100°C, durante un tiempo de 10 minutos, luego es empleó la siguiente fórmula:

$$\% MV = \frac{(\text{Peso cápsula} + \text{Muestra}) - (\text{Peso cap} + \text{Muestra a } 950^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ min})}{(\text{Peso Cápsula} + \text{Muestra}) - \text{Peso Cápsula}} \quad (7)$$

Tabla 15: Método para determinar material volátil pellets

	Peso Cápsula, g	Peso Cápsula + Muestra	Peso Cápsula + Muest Seca	Peso de la Muestra	% MV
M-1	58,368	59,118	58,748	0,750	49,33
M-2	56,151	57,013	56,603	0,862	47,56
M-3	49,397	50,268	49,838	0,871	49,37
M-4	45,459	46,327	45,929	0,868	45,85

Fuente: Elaboración propia.

- **Porcentaje de ceniza**

Se pesó la muestra seca en el crisol, para luego colocarlas sobre un mechero y darlo a una temperatura de 900 C° por aproximadamente de una hora. Este procedimiento tiene a demorar debido a que se debe calcinar la muestra.

$$\text{Ceniza} = \left(\frac{(\text{Peso cápsula} + \text{Muestra a } 900^{\circ}\text{C}) - (\text{Peso cap} + \text{Muestra})}{\text{Peso Cápsula}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Tabla 16. Método para determinar porcentaje de ceniza de los pellets

	Peso Cápsula, g	Peso Cápsula + Muestra	Peso Cápsula + Muest Seca	Peso de la Muestra	% Ceniza
M-1	58,368	59,118	59,070	0,750	6,4
M-2	56,151	57,013	56,965	0,862	5,56
M-3	49,397	50,268	50,225	0,871	4,93
M-4	45,459	46,327	46,278	0,868	5,64

Fuente: Elaboración propia

- **Porcentaje del carbón fijo**

Para el cálculo del carbón fijo primero que se debe determinar es el porcentaje de ceniza y material volátil. Se aplica la siguiente formula de Goutal.

$$\% \text{ Carbón Fijo} = 100 - (\% \text{ Ceniza} + \% \text{ MV}) \quad (9)$$

Tabla 17. Método para determinar el porcentaje de carbón fijo de los pellets

	Peso Cápsula, g	Peso Cápsula + Muestra	Peso Cápsula + Muest Seca	Peso de la Muestra	% MV	% CF
M-1	58,368	59,118	58,748	0,750	49,33	44,27
M-2	56,151	57,013	56,6089	0,862	47,56	46,88
M-3	49,397	50,268	49,87	0,871	49,37	45,7
M-4	45,459	46,327	45,9059	0,868	45,85	48,51

Fuente: Elaboración propia

- **Calculo del poder calorífico**

Para el cálculo del poder calorífico lo primero que se debe determinar es el porcentaje de carbón fijo y el material volátil. se aplica la siguiente formula de goutal.

$$\text{Poder Calorífico} = ((82 * \%CF) + (120 * \%MV)), \text{kcal/kg} \quad (10)$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Método para determinar el poder calorífico de los pellets

	% MV	% CF	Poder Calorífico, Kcal/Kg	Tiempo de Combustión (min)
M-1	49,33	44,27	9549,74	11
M-2	47,56	46,88	9551,36	13
M-3	49,37	45,7	9671,8	15
M-4	45,85	48,51	9483,4	09

Fuente: Elaboración propia

- **Eficiencia para determinar la eficiencia del poder calorífico**

Se utilizó 150 ml de agua y 05 pellets por muestra, para medir el tiempo de combustión con los tres tipos de muestra de pellets.

Tabla 19. Tiempo de combustión de los pellets

	% MV	% CF	Poder Calorífico, Kcal/Kg
M-1	49,33	44,27	9549,74
M-2	47,56	46,88	9551,36
M-3	49,37	45,7	9671,8
M-4	45,85	48,51	9483,4

Fuente: Elaboración propia

- **Proceso de prensado**

Se realizaron los experimentos mencionados anteriormente a una presión de 40 bar, es decir la máxima presión que proporcionaba la prensa utilizada, puesto que elaborar pellets con una presión menor a 40 bares implicó una menor resistencia y duración de estos. Este proceso se realizó por medio de una prensa particular



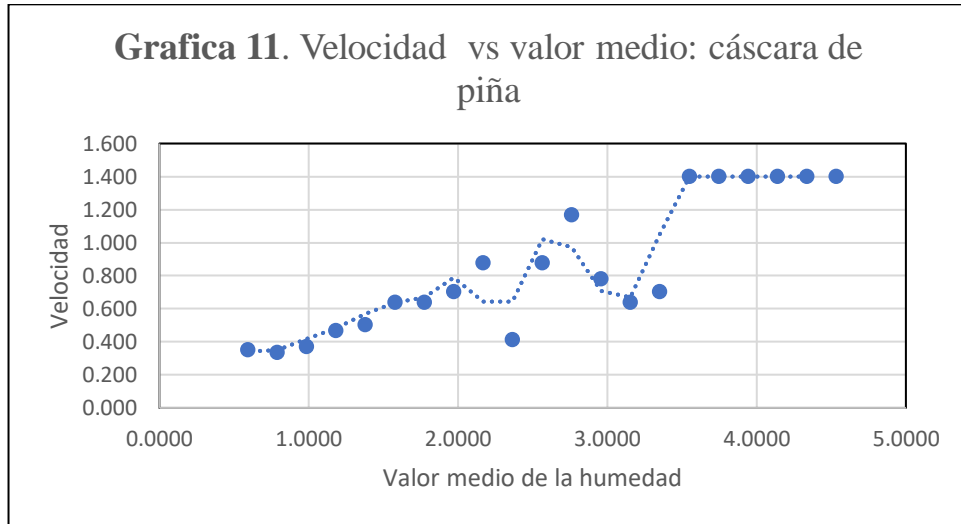
Para el análisis de datos utilizaremos herramientas como Microsoft Excel; que es un programa que nos permitirá la manipulación de hojas de cálculo, donde se puede trabajar almacenando los datos, organizando varios tipos de información relacionada a un único o más archivos y luego graficándolo para un mayor panorama científico

3.10. Aspectos éticos

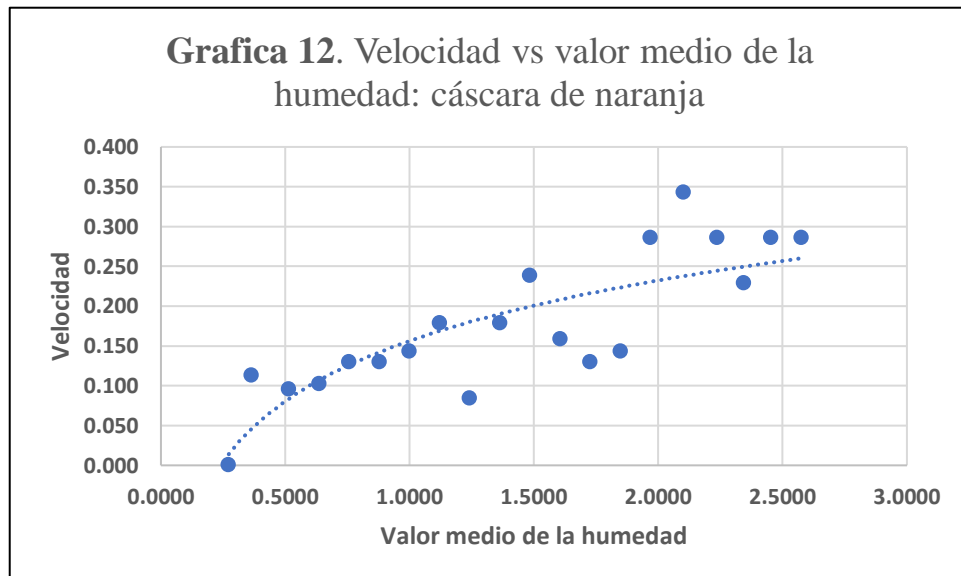
Para que esta investigación se sustentará en los principios de la ética, en esta investigación, se protegerá la propiedad intelectual mediante la cita de los diferentes trabajos utilizados, se protegió a la sociedad en el proceso investigativo; además no se trabajará con seres humanos ni animales.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

1. Para graficar la curva de velocidad de secado de las diferentes muestras obtenidas, se tuvieron que determinar, primero la humedad, se calculó la fracción húmeda, porcentaje de humedad; así como también la cantidad de sólido completamente seco, la variación del tiempo de secado, el área de cada muestra a secar; con todos estos datos, se elaboró el cuadro para graficar la curva de velocidad de secado.



Fuente: Elaboración propia

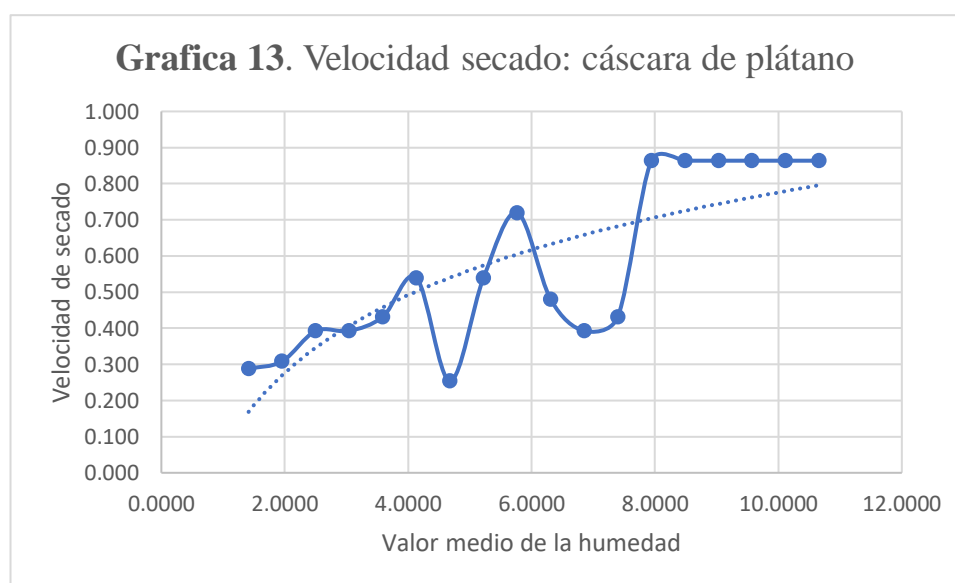


Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tabla de resultados finales de las muestras realizadas

Tiempo: min	Tiempo: h	Peso Total kg	Humedad Total Kg	X kg/kg	Valor Medio, H	Velocidad:W kg/(h)(m ²)
0	0,000	0,15	0,13743	10,933		
5	0,083	0,143162	0,130592	10,389	10,6612	0,864
10	0,167	0,136324	0,123754	9,845	10,1172	0,864
15	0,250	0,129486	0,116916	9,301	9,5732	0,864
20	0,333	0,122648	0,110078	8,757	9,0292	0,864
25	0,417	0,11581	0,10324	8,213	8,4852	0,864
30	0,500	0,108972	0,096402	7,669	7,9412	0,864
40	0,667	0,102134	0,089564	7,125	7,3972	0,432
51	0,850	0,095296	0,082726	6,581	6,8532	0,393
60	1,000	0,088458	0,075888	6,037	6,3092	0,480
66	1,100	0,08162	0,06905	5,493	5,7652	0,720
74	1,233	0,074782	0,062212	4,949	5,2212	0,540
91	1,517	0,067944	0,055374	4,405	4,6772	0,254
99	1,650	0,061106	0,048536	3,861	4,1333	0,540
109	1,817	0,054268	0,041698	3,317	3,5893	0,432
120	2,000	0,04743	0,03486	2,773	3,0453	0,393
131	2,183	0,040592	0,028022	2,229	2,5013	0,393
145	2,417	0,033754	0,021184	1,685	1,9573	0,308
160	2,667	0,026916	0,014346	1,141	1,4133	0,288
179	2,983	0,020078	0,007508	0,597	0,8693	0,227
200	3,333	0,01324	0,00067	0,053	0,3253	0,206
220	3,667	0,006402	-0,006168	-0,491	-0,2187	0,216

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

2. Material volátil, porcentaje de ceniza, porcentaje de carbón fijo: de las muestras obtenidas.

Tabla 21. Porcentaje de ceniza y carbón fijo

	% MV	% CF	% Ceniza
M-1	49,33	44,27	6,4
M-2	47,56	46,88	5,56
M-3	49,37	45,7	5,64
M-4	45,85	48,51	

Fuente: Elaboración propia.

3. Poder calorífico de las muestras

Tabla 22. Poder calorífico de las muestras.

	Poder calorífico, kcal/kg
M-1	9 549,74
M-2	9 551,36
M-3	9 671,8
M-4	9 483,4

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

1. No se utilizó un solo tipo de cáscara para obtener los pellets, sino que se utilizó una mezcla de cáscaras, con diferentes porcentajes.
2. La muestra N° 3, presenta el mayor porcentaje de material volátil, mientras que la muestra N° 2 presenta el menor porcentaje de material volátil.
3. Existe poca bibliografía referente a la elaboración de pellets a partir de cáscaras de frutas, pero de acuerdo a los datos obtenidos en el presente estudio, la mezcla de cáscara de frutas, tienen alto poder calorífico, por lo que es posible instalar una planta productora de este tipo de biocombustible sólido.
4. Para una mejor comprensión sobre el poder calorífico obtenido por el biocombustible sólido, se realizó un cuadro comparativo de esta, junto a las diferentes dendroenergías, las más utilizadas en nuestra amazonia

Tabla 23. Cuadro comparativo del poder calorífico de la leña, el carbón y el biocombustible sólido.

Muestras	Poder calorífico, kcal/kg
Leña de roble (madera dura)	3 000 – 4 000 <i>kcal/kg</i>
Biocombustible solido	9 483,4 – 9 671,8 <i>kcal/kg</i>
Carbón (capirona)	12 000 – 21 000 <i>kcal/kg</i>
Carbón vegetal	29 000 – 35 000 <i>kcal/kg</i>

Fuente: Elaboración propia.

5. Con los datos obtenidos en el presente trabajo, viendo la eficacia y el aprovechamiento que se dio a residuos orgánicos (cascaras de frutas), concluimos que si se da una mejor respuesta política al reciclaje, a la concientización de las personas, y al estudio amplio sobre el producto elaborado, podríamos tener un combustible alternativo masivo a futuro.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

1. Se concluye que la muestra 3, cuenta con mayor poder calorífico con 9 671, 8 *kcal /kg*, concluyendo que es el más óptimo para tener una mejor combustión energética.
2. La composición del pellet que tiene mayor poder calorífico es: 20% cáscara de naranja, 33,33 % cáscara de piña y 46,66 % de cáscara de plátano.
3. La muestra N° 3, tiene el mayor tiempo de combustión, con un tiempo de 15 min.
4. La muestra N° 4, presenta el menor poder calorífico, con 9 483,4 *kcal/kj*
5. Es posible obtener biocombustibles sólidos a partir de cáscaras de frutas.
6. En la tabla N° 23, se puede apreciar un cuadro comparativo sobre el poder calorífico entre las diferentes dendroenergias (combustibles procedentes de la madera) y el biocombustible solido a partir de residuos de frutas, a través de los análisis realizados en el laboratorio y investigando el poder calorífico de los diversos dendroenergias, se llegó a la conclusión que el biocombustible tiene un mayor poder calorífico que la leña de roble (madera dura), dando una buena alternativa de combustión a futuro.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Estudiar otras materias primas, para obtener biocombustibles sólidos, de tal manera que sea utilizado en las diferentes comunidades de nuestra región, para disminuir la tala de los bosques, de esta manera se estaría contribuyendo a disminuir el calentamiento global del planeta.
2. Implementar una planta a nivel industrial de fabricación de pellets a partir de residuos orgánicos (cáscaras de frutas), así como de residuos agrícolas, residuos de madera (aserrín).
3. Incentivar el uso de los biocombustibles sólidos en las comunidades de nuestra región, para el cocimiento de los alimentos mediante combustible bioenergética.
4. Se requiere de hacer un estudio de costos con el fin de mejorar la calidad del biocombustible para poder reemplazar al Carbón Bradbord Americano.
5. Se requiere de una política agresiva con el fin de educar a la población en el uso correcto y adecuado del reciclaje y rehusó de materiales orgánicos, debido a que en la misma zona de recolección y a nivel nacional, existe indiferencia hacia la reutilización y aprovechamiento de diversos materiales que pueden mejorar la calidad de vida y económica de las familias.
6. Se deben promover el fortalecimiento de capacidades y la implementación de programas de investigación debidamente presupuestadas, equipadas y dotadas con talentos humanos calificados para el desarrollo de los biocombustibles.
7. Se debe promover una certificación local de la producción del biocombustible para garantizar su origen legal

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **Barerra J. (2009)**. Briquetas, la mejor forma de reutilizar los residuos forestales.
2. **Ortiz L. (1989)**. Compactación de biomasa residual, en la biomasa como fuente de energía y productos para la agricultura y la industria, Madrid.
3. **Gabriela B; et al: (2018)** Scenarios and prospects for the use of solid biofuels in Brazil. [en línea 21 Agosto 2017] [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>>
4. **Wojciech, C; et al: (2018)** The energy value and economic efficiency of solid biofuels produced from digestate and sawdust. [en línea 14 junio 2018] [Fecha de consulta: 01 de marzo 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.090>>
5. **Esa K, (2017) Solid biofuels and combustión**. [en línea 14 junio 2018] [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804389-9.00002-2>
6. **Nona M; et al (2018)**. Performance of binders in briquetting of durian peles a solid biofuels [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2019] Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.028>>
7. **Konstantino, k; et al (2018)**. Fast Determination of Fuel Properties in Solid Biofuel Mixtures by Near Infrared Spectroscopy, [Fecha de consulta: 01 de marzo 2019]
Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.476>>
8. **Rios, Inés; et al (2015)**. Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global, México.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO	Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Tipo y diseño de investigación	Población de estudio y procesamiento	Instrumento de recolección de datos
<p>Obtención de biocombustible sólido a partir de residuo de fruta</p>	<p>¿Cómo obtener biocombustible sólido a partir de residuo de fruta?</p>	<p>General Obtener biocombustible sólido a partir de residuo de fruta.</p> <p>Específicos</p> <p>Determinar las características físicas y químicas de los residuos de frutas.</p> <p>Determinar el rendimiento en biocombustible sólido obtenido a partir de residuos de frutas.</p> <p>Determinar las características físicas y químicas y energéticas del biocombustible sólido obtenido.</p> <p>Obtener biocombustible sólido a partir de residuos de fruta, como alternativa energética para las comunidades de la región Loreto.</p>	<p>Mediante la recolección de residuos de frutas, cortado, molido, secado, mezclado con aglutinante, compresión; aplicando técnicas estadísticas, métodos calorimétricos; es posible producir biocombustible sólido (pellets), a partir de residuos de frutas.</p>	<p>Descriptivo-Experimental</p> <p>Porque se pretende recolectar y describir información referente a la generación de residuos de frutas, y obtener mediante una secuencia de pasos, el biocombustible sólido.</p>	<p>Población: Está constituido por todos los tipos de residuos de frutas</p> <p>Técnicas e Instrumentos Observación consiste en obtener información mediante la percepción visual selectiva, interpretada de un objeto o de un fenómeno determinado</p> <p>Ensacado Se utilizará para recopilar los residuo de frutas y transportarlos</p> <p>Análisis de Datos Para el análisis de datos utilizaremos herramientas como Microsoft Excel; que es un programa que nos permitirá la manipulación de hojas de cálculo, donde se puede trabajar almacenando los datos, organizando varios tipos de información relacionada a un único o más archivos y luego graficándolo para un mayor panorama científico.</p>	<p>Los instrumentos para recolectar datos, estarán constituidos por materiales, datos estadísticos de producción de residuos de frutas, se empleará cuadernos de apunte</p>

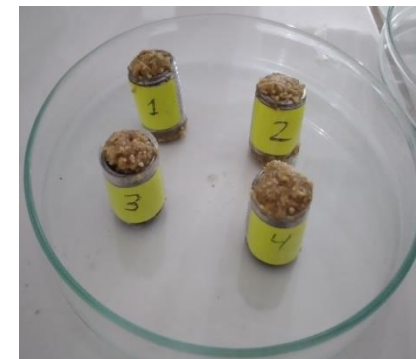
Anexo 2: Panel fotográfico



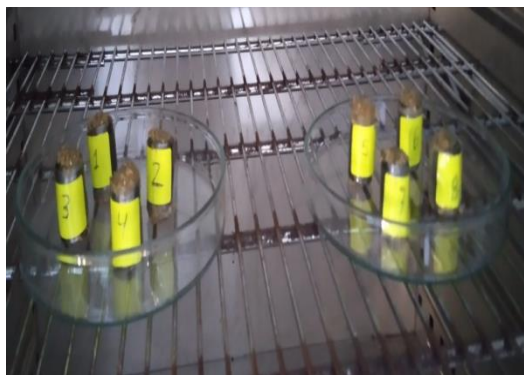
MATERIA PRIMA MOLIDA



MATERIA PRIMA MOLIDA CON AGLOMERANTE



MUESTRAS COLOCADAS EN PELLETS



MUESTRAS COLOCADAS EN PELLETS EN EL HORNO



**PREPARANDO MUESTRAS PARA
INGRESAR AL CALORIMETRO**



PREPARANDO MUESTRAS PARA
INGRESAR AL CALORIMETRO



CALORIMETRO



MUESTRAS SECAS ENCENDIDAS

