

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la
obtención de energía calorífica con residuos agrícolas
generados en Masma Chicche, Jauja - 2021**

Hermelinda Huaman Ramos
Mireya Marianela Ramirez Sucño
Rossy Josselin Surichaqui Unchupaico

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Continental de Huancayo y a sus docentes, cuyos conocimientos y orientaciones lograron en nosotras una integral formación profesional.

Al Ing. Steve Dann Camargo Hinojosa por su asesoramiento y motivación en el desarrollo de esta investigación.

A la población del distrito de Masma Chicche por permitirnos hacer los experimentos en sus estufas ecológicas, también por proporcionarnos la materia prima que son los residuos agrícolas para la elaboración de briquetas.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarnos salud, economía e inteligencia, por mantenernos firmes y seguir ante cualquier adversidad.

A nuestros padres, hermanos, amigos y familiares por brindarnos su apoyo incondicional en todo momento durante la vida universitaria y por confiar en nosotras.

ÍNDICE

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice	iv
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	viii
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación de problema	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia	17
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación.....	23
2.2.2. Fundamentos metodológicos y técnicos.....	30
2.3. Definición de términos básicos	31
CAPÍTULO III	35
METODOLOGÍA	35
3.1. Ubicación	35
3.2. Método y alcance de investigación	36
3.2.1. Método de investigación.....	36
3.2.2. Alcance de investigación	36
3.3. Diseño de investigación	37

3.3.1. Tipo de diseño de investigación	37
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.4.1. Técnicas de recolección de datos	38
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	38
CAPÍTULO IV.....	39
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	39
4.1. Identificación de requerimientos	39
4.1.1. Requerimientos funcionales	39
4.1.2. Requerimientos no funcionales	39
4.2. Análisis de la solución.....	40
4.3. Diseño.....	41
CAPÍTULO V.....	43
CONSTRUCCIÓN	43
5.1. Construcción	43
5.1.1. Procedimiento de la investigación	43
5.1.2. Factor de estudio.....	47
5.1.3. Análisis de propiedades físicas y químicas	47
5.2. Pruebas y resultado	49
5.2.1. Tipos de residuos que son utilizados en la elaboración	49
5.2.2. Diseño del prototipo de briqueta ecológica.....	53
5.2.3. Tiempo de combustión según el aglutinante usado.....	54
5.2.4. Porcentaje de humedad, cenizas y densidad	62
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
Trabajos futuros	79
Lista de referencias	80
Anexos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del distrito	35
Figura 2. Análisis de solución.....	40
Figura 3. Caja negra del diseño de la briqueta.....	41
Figura 4. Vista en 2D del diseño de la briqueta con unidad de medida m.....	42
Figura 5. Vista en 3D del diseño de la briqueta.....	42
Figura 6. Obtención de aglutinantes.....	45
Figura 7. Proceso de elaboración de briquetas	45
Figura 8. Prensa tipo C	46
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso.....	47
Figura 10. Muestra de la briqueta húmeda y seca	48
Figura 11. Tiempo de combustión de briquetas de los 5 tratamientos	61
Figura 12. Porcentaje de humedad de las briquetas de los 5 tratamientos	65
Figura 13. Porcentaje de cenizas de las briquetas de los 5 tratamientos.....	69
Figura 14. Volumen de prisma trapezoidal	71
Figura 15. Volumen del cilindro	71
Figura 16. Densidad de briquetas de los 5 tratamientos	75
Figura 18. Recolección de materia prima	86
Figura 19. Limpieza de los residuos.....	86
Figura 20. Triturado de materias primas	86
Figura 21. Machete de tipo curvo usado para el triturado de materias primas .	87
Figura 22. Pesado del total de paja de cebada para los 5 tratamientos	87
Figura 23. Pesado del total de bagazo de maíz para los 5 tratamientos	87
Figura 24. Pesado del total de aserrín para los 5 tratamientos	87
Figura 25. Pesado del total de papel para los 5 tratamientos	88
Figura 26. Pesado del total de gel de sábila para los 5 tratamientos	88
Figura 27. Pesado del total de almidón de papa para los 5 tratamientos	88
Figura 28. Pesado del total de almidón de maíz para los 5 tratamientos	88
Figura 29. Pesado de la paja de cebada para los 6 ensayos de briqueta	89
Figura 30. Pesado del bagazo de maíz para los 6 ensayos de briqueta	89
Figura 31. Pesado del aserrín para los 6 ensayos de briqueta	89
Figura 32. Pesado del papel para los 6 ensayos de briqueta.....	89

Figura 33. Pesado del almidón de papa para el tratamiento 4	90
Figura 34. Pesado del almidón de maíz para el tratamiento 4	90
Figura 35. Pesado del gel de sábila para el tratamiento 4	90
Figura 36. Mezclado de los 3 aglutinantes para el tratamiento 4	90
Figura 37. Peso del bagazo de maíz para los ensayos.....	91
Figura 38. Peso de la paja de cebada para los ensayos.....	91
Figura 39. Peso del aserrín para los ensayos	91
Figura 40. Mezclado de materias	92
Figura 41. Molde para el prensado de materias primas	92
Figura 42. Prensado de materias primas	92
Figura 43. Prensa de tipo tornillo para la compactación.....	92
Figura 44. Peso de briqueta húmeda	93
Figura 45. Secado de briquetas	93
Figura 46. Pesado de briquetas	94
Figura 47. Encendido de briquetas y medición de temperatura	94
Figura 48. Medición de la temperatura a los 30 minutos de combustión.....	94
Figura 49. Combustión de la briqueta al minuto 35	95
Figura 50. Medición de la temperatura al final de la combustión.....	95
Figura 51. Pesado de la cantidad de cenizas.....	95
Figura 52. Aplicación de encuestas a los pobladores sobre la cantidad de desechos agrícolas generados y desechados.....	96
Figura 53. Recolección, verificación y validación de la cantidad de residuos agrícolas desechados.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del aserrín	29
Tabla 2. Tipos de proceso de fabricación.....	30
Tabla 3. Tipos de residuos forestales.....	33
Tabla 4. Factor en estudio.....	47
Tabla 5. Eficiencia de combustión de los residuos a usar	52
Tabla 6. Componente de almidones.....	53
Tabla 7. Combustión del tratamiento 1 con almidón de maíz.....	55
Tabla 8. Combustión del tratamiento 2 con almidón de papa	56
Tabla 9. Combustión del tratamiento 3 con gel de sábila	57
Tabla 10. Combustión del tratamiento 4 con los 3 aglutinantes	58
Tabla 11. Combustión del tratamiento 5 sin aglutinante.....	59
Tabla 12. Cuadro de análisis de la varianza para el tiempo de combustión.....	59
Tabla 13. Medias y grupos homogéneos	60
Tabla 14. Porcentaje de humedad T1	62
Tabla 15. Porcentaje de humedad T2	62
Tabla 16. Porcentaje de humedad T3	63
Tabla 17. Porcentaje de humedad T4	63
Tabla 18. Porcentaje de humedad T5	63
Tabla 19. Cuadro de análisis de la varianza para el porcentaje de humedad ..	64
Tabla 20. Medias y grupo homogéneos	64
Tabla 21. Porcentaje de cenizas T1	66
Tabla 22. Porcentaje de cenizas T2	67
Tabla 23. Porcentaje de cenizas de T3	67
Tabla 24. Porcentaje de cenizas T4	67
Tabla 25. Porcentaje de cenizas T5	68
Tabla 26. Cuadro de análisis de varianza para el porcentaje de ceniza	68
Tabla 27. Media y grupos homogéneos	69
Tabla 28. Densidad de tratamiento 1	72
Tabla 29. Densidad de tratamiento 2	72
Tabla 30. Densidad de tratamiento 3	73
Tabla 31. Densidad de tratamiento 4	73

Tabla 32. Densidad de tratamiento 5	73
Tabla 33. Cuadro de análisis de la varianza.....	74
Tabla 34. Medias y grupo homogéneo	74
Tabla 35. Comparación de briquetas	76

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal elaborar y analizar las briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche. Los residuos utilizados para su elaboración son el bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y aglutinantes. Esta investigación es tecnológica, se aplicó el método inductivo y diseño experimental. Se utilizaron 5 tratamientos, el primero con aglutinante de almidón de maíz, el segundo con aglutinante de almidón de papa, el tercero con aglutinante de gel de sábila, el cuarto con aglutinante mixto y el quinto sin aglutinante. Cada tratamiento tuvo 6 ensayos de briquetas, las variables que se analizaron fueron: tiempo de combustión, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas y densidad. El menor tiempo de combustión lo obtuvo el tratamiento tres con promedio de 21'11"; el mayor tiempo, el tratamiento dos con promedio de 56'16". El menor porcentaje de humedad se obtuvo con el tratamiento dos con promedio de 9.91%, y el mayor, el tratamiento tres con promedio de 13.38%. El menor porcentaje de cenizas se logró en el tratamiento tres con promedio de 9.23%, y el mayor, el tratamiento cuatro con promedio de 11.51%. La menor densidad lo obtuvo el tratamiento cinco con promedio de 220.49 kg/m³, y el mayor, el tratamiento dos con promedio de 439.52 kg/m³. Se concluyó que el tratamiento dos resiste más a la combustión, presenta bajo porcentaje de humedad y densidad mayor lo cual permite su transporte, almacenamiento y manipulación fácil sin quebrarse.

Palabras clave: briquetas, combustión, energía calorífica, residuos agrícolas

ABSTRACT

The main objective of this research work was to elaborate and analyze ecological briquettes for obtaining heat energy with agricultural residues generated in Masma Chicche. The residues used for its elaboration; They are corn bagasse, barley straw, sawdust, recycled paper, and binders. This research is technological, the inductive method and experimental design were applied. 5 treatments were used, the first with corn starch binder, the second with potato starch binder, the third with aloe vera gel binder, the fourth with mixed binder and the fifth without binder. Each treatment had 6 tests of briquettes, the variables that were analyzed were: burning time, humidity percentage, ash percentage and density. The shortest burning time was obtained by treatment three with an average of 21'11" and the greatest by treatment two with an average of 56'16". The lowest percentage of humidity was obtained with treatment two with an average of 9.91% and the highest with treatment three with an average of 13.38%. The lowest percentage of ash was achieved in treatment three with an average of 9.23% and the highest in treatment four with an average of 11.51%. The lowest density was obtained by treatment five with an average of 220.49 kg / m³ and the highest by treatment two with an average of 439.52 kg / m³. It was concluded that treatment two is more resistant to combustion, presents a low percentage of humidity and a higher density, which allows its transport, storage and easy handling without breaking.

Keywords: agricultural waste, briquettes, combustion, heat energy

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población como también de las actividades humanas han generado un agotamiento de recursos naturales, estas actividades de producción generan cantidades de residuos agrícolas, forestales, entre otros, causando problemas ambientales concernientes al aire, suelo y agua. Por otra parte, el uso de biocombustible se ha convertido en una necesidad para las personas.

Asimismo, la demanda por fuentes de energía limpia, barata y renovable ha llevado a evaluar el potencial energético de diferentes productos agroforestales; también la gran necesidad de energía que se da principalmente en el Perú por el uso de combustibles, que obliga a buscar nuevas fuentes energéticas que tenga la viabilidad económica con bajo impacto ambiental.

La necesidad del hombre día a día busca conseguir insumos para la cocción de los alimentos. El gas es la opción más utilizada y también es costosa, es por ello que los pobladores de bajos recursos prefieren utilizar leños obtenidos mayormente de la madera y que es conocida como rajada o leña, pero una propuesta de solución es optar por un biocombustible a base de residuos agrícolas.

Estos problemas son una realidad que se dan día tras día en diferentes lugares del mundo y del Perú, el distrito de Masma Chicche no es ajeno a ello, ya que se labran una gran variedad de cultivos, entre ellos los más comunes son la papa, cebada, trigo, arveja, habas, avena, entre otros. Estos cultivos generan deshechos que ocasiona un problema para los agricultores. Además, no se obtiene ningún valor agregado de los mismos, que ocasiona un sobrecosto para la limpieza y el transporte. Es por lo que los agricultores optan por quemarlos, ocasionando impacto ambiental negativo. Asimismo, no practican incorporar los residuos de cultivo al suelo para incrementar la materia orgánica.

En el distrito de Masma Chicche las actividades con más demanda son la agricultura y ganadería, de donde proviene su principal fuente de ingresos

económicos, debido a ello hay generación de residuos agrícolas en la época seca y de cosecha. Al cosechar los productos se generan desperdicios y algunos son aprovechados como alimento para el ganado, pero no todo es consumido en su totalidad por los animales, sino que quedan desperdicios. Los pobladores de este distrito mencionan que obtienen más de una camionada de bagazo de maíz, paja de cebada, avena, trigo u otro cereal que siembran haciendo un aproximado de 3 toneladas. Además, se genera en la época seca donde el pasto natural llega a escasear y el alimento de los animales se fundamenta en la paja de avena, trigo, centeno, bagazo de maíz (conocido en la zona como chala), siendo desperdiciados en grandes cantidades.

Debido a ello la presente investigación indaga y efectúa una solución a la generación de los residuos o desechos agrícolas que se generan en el distrito de Masma Chicche en la temporada de cosecha y verano, esto trata sobre la elaboración y diseño de briquetas ecológicas a base de residuos agrícolas que se generan en la zona. Estos biocombustibles brindan ventajas ambientales, económicas, sociales, además presenta mayor poder calorífico que la leña, encendido rápido, humedad baja, limpia y homogénea, manipulación fácil, no genera malos olores, menor porcentaje de cenizas, 100% ecológicas, que contribuye con el cuidado del ambiente.

Este trabajo de investigación tiene relevancia en el ámbito tecnológico ya que aprovechará los residuos de cultivo y forestal mediante la elaboración de briquetas, además, pretende disminuir los residuos agrícolas generados en el distrito, mediante el aprovechamiento de estas materias primas que son consideradas una amenaza para el medio ambiente.

El aporte de esta investigación es dar a conocer a las personas un tipo de biocombustible menos contaminante y de bajo costo al alcance de todos, ya que su elaboración será a base de residuos agrícolas desechados, esta investigación tiene como objetivo aprovechar los residuos agrícolas generados en el distrito de Masma Chicche para convertirlo en un biocombustible alternativo, así mismo, para lograr una fuente de energía limpia y eco amigable con el ambiente.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación de problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Hoy en día se sabe que los estados subdesarrollados se ubican en zonas donde el clima es templado, por ello se sabe que su demanda a futuro será alta en el consumo de energía. Estos países generalmente se dedican a la agroindustria y agrícola, generando gran cantidad de residuos agrícolas, como también residuos sólidos; dichos residuos generados pueden ser aprovechados como fuente para poder generar energía. La abundancia de residuos agrícolas desechados es considerada un gran problema para los agricultores, y como no se realiza el manejo adecuado de estos desechos agrícolas, la opción más rápida y económica es la quema descontrolada, ya que permite a los agricultores deshacerse de estos residuos indeseados (1).

A la quema de estos residuos o desechos agrícolas se le considera como una actividad que genera también efectos negativos al entorno y ambiente, como también la salud de las personas, ya que emiten contaminantes atmosféricos en su totalidad, con 40% de dióxido de carbono, 32% en monóxido de carbono, 20% de material particulado y el 50% HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) (1).

Por otro lado, en los países Ghana o Nepal, el combustible que proviene de la leña es considerada como fuente de energía que más predomina en vía de desarrollo. La extracción excesiva de leña trae serias consecuencias como el tiempo de recuperación del ecosistema. También durante la combustión de la leña se generan humos y esto causa problemas respiratorios en las personas que gozan de su uso en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento. Ecuador es uno de los primeros países que hacen consumo de energía proveniente de la leña y América Latina ocupa el cuarto lugar (2).

El aserrín, viruta, costanera, despuntes están almacenados en los cerros, dispuesto en el medio sin adoptar medidas de control y mitigación. Estos son quemados a cielo abierto, contaminan al ambiente, afectan a la población, especies de flora, fauna y cuerpos de aguas abajo. En solución a esta problemática, se está considerando el uso de biomasa forestal residual como elemento básico para la producción de energía calorífica, ya que en la actualidad son las alternativas energéticas más baratas y sostenibles para países en vías de desarrollo, ayudando a solucionar los problemas ambientales como socioeconómicos (3).

En la región Lambayeque hay un crecimiento poblacional e industrial a gran escala, pero se van incrementando los problemas ambientales como la generación de residuos, frente a esto se busca solucionar eliminando, manipulando transformando y encontrando opciones para reducir la cantidad de residuos (3). Del mismo modo, en la región Junín, el valle del Mantaro afronta una problemática ambiental similar debido a que sus pobladores tienen como primordial actividad a la ganadería y agricultura, debido a esto se generan grandes cantidades de material vegetal provenientes de la cosecha de los cultivos que quedan en el campo, la mayoría de los agricultores lo usan como alimento para sus animales o son comúnmente quemados en el campo después de haber realizado la cosecha, pero no todos estos residuos son consumidos por el ganado, ya que muchos de estos materiales vegetales

son desperdiciados, generando así desechos agrícolas en diferentes lugares, generalmente la generación de estos residuos agrícolas se da porque no hay un adecuado manejo de estos, también por la falta de conocimiento sobre aprovechamiento de estos residuos. En los últimos años, la agricultura en el valle del Mantaro está creciendo debido a las necesidades económicas de las personas, ya que comercializan sus productos en Lima, por el contrario, los restos agrícolas generados en la temporada de cosecha son usados en la ganadería como alimento para sus ganados (4).

Este mismo problema viene atravesando el distrito de Masma Chicche, los residuos aprovechados como alimentos para el ganado no son consumidos en su totalidad, para la temporada de estiaje los pobladores almacenan restos agrícolas mediante la compra del bagazo de maíz que proviene del valle del Mantaro y la paja de cereales como trigo, cebada, centeno y avena que provienen de sus cosechas, para así poder alimentar a sus animales durante esa temporada, ya que existe escasez de pastos naturales, mas no los residuos agrícolas que sobreabundan en la zona (4).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ¿Cómo se podrán aprovechar los residuos agrícolas para la obtención de energía calorífica en Masma Chicche, Jauja?

1.1.2.1. Problemas específicos

- ¿Qué tipo de residuos agrícolas se usarán para la elaboración de briquetas ecológicas?
- ¿Cómo será el prototipo de la briqueta ecológica que se usará para su elaboración?
- ¿Qué variables serán evaluadas en las briquetas ecológicas elaboradas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Elaborar y analizar las briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja – 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el tipo de residuos agrícolas que serán empleados en la elaboración de briquetas ecológicas
- Diseñar un prototipo de briketa ecológica a partir de los residuos agrícolas desechados.
- Evaluar el tiempo de combustión, porcentaje de humedad, porcentaje de ceniza y densidad de las briquetas ecológicas elaboradas.

1.3. Justificación e importancia

En la actualidad en la región Junín, en el distrito de Masma Chicche, los pobladores se dedican a la ganadería y agricultura, siembran tubérculos y cereales para generar ingresos económicos a través de la venta de sus productos. Y además se dedican a la crianza de animales ovino y vacuno (5).

Durante la cosecha de los productos se generan residuos agrícolas, a su vez, estos son usados para la alimentación de sus ganados; pero no son consumidos en su totalidad dejando desperdicios, por otro lado, estos residuos agrícolas como tallos de tarwi, papa, quinua, cebada, arveja, habas, oca, mashua, paja de trigo, cebada, avena, centeno, bagazo de maíz son quemados en campo abierto emitiendo contaminantes atmosféricos como el “monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), material particulado (PM₁₀) y (PM_{2,5}), estas partículas finas o llamadas también material particulado emiten una gran amenaza hacia la salud (6). Por otro lado, esta quema a campo abierto genera incendios forestales, debido a que el fuego es expandido con el aire, llegando así a los bosques y consumiendo grandes hectáreas de terreno.

Frente a este problema, se optó por diseñar y elaborar briquetas ecológicas para generar energía calorífica con los residuos agrícolas que se generan en el distrito de Masma Chicche, durante la temporada de cosecha aprovechar estos residuos, convirtiéndolos en un combustible eco amigable con el medio ambiente, al alcance de sus bolsillos y fácil de elaborar.

Esta investigación es de gran aporte para la sociedad, contribuye en la disminución del volumen de residuos agrícolas acumulados en el distrito, por otra parte, ayudará a disminuir los incendios forestales y enfermedades respiratorias de adultos y niños provocados por la quema a cielo abierto de estos residuos. También incentiva a la sociedad a aprovechar estos residuos agrícolas realizando proyectos similares e investigaciones y crear empresas con enfoque a la producción de briquetas ecológicas elaboradas por ellos, para ser usados como combustible ecológico, sustituyendo al combustible tradicional que es la leña de eucalipto, queñuales, entre otros.

Al producirse en grandes cantidades traerá ventajas económicas a la sociedad, su producción generará empleos e ingresos económicos. La elaboración de briquetas es muy fácil, es menos contaminante y está al alcance de todos los pobladores debido a que serán fabricadas con las materias primas que los pobladores desechan, como los desperdicios de sus cosechas o residuos agrícolas, paja de cebada, trigo, avena, centeno, bagazo de maíz, almidón de papa, aserrín y papeles reciclados. Se considera que la presente investigación tiene gran importancia monetaria o económica, asimismo, también tiene una importancia social, ambiental y tecnológica, ya que aporta una opción de solución a la problemática ambiental sobre la quema e incendios de rastrojos o restos agrícolas a cielo abierto y la no utilización de estos desechos, evitando la contaminación atmosférica, convirtiéndolas en briquetas ecológicas que posteriormente serán usadas como combustible económico en el distrito, reemplazando al actual combustible que es la leña de eucalipto, altamente contaminante y con un costo mayor. Como aporte teórico está la información para aquellas personas que quieren realizar investigaciones como la tala ilegal de bosques, cambio climático, residuos agrícolas y forestales, entre otros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En la tesis “*Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de los residuos de maíz Zea mays*” (2), desarrollada en el Ecuador, se planteó como objetivo “fabricar briquetas para obtener la cantidad energética de los restos de cultivo del maíz. A través del método deductivo se permitió establecer conclusiones teniendo en cuenta la recopilación de información, comenzando de lo general a lo específico y se realizó mediante un análisis de varianza, empleando el ensayo de Tukey con la finalidad de poder procesar los resultados de resistencia, ceniza, poder calorífico; que se obtuvieron mediante la aplicación a todos los tratamientos, en cuanto al diseño es una investigación experimental. Los resultados obtenidos fueron que el tratamiento 3 correspondió un 50% de talluelo y 50% de tusa, siendo este el que muestra mayor proporción de poder calorífico como 15.55 MJ/kg en promedio, este tratamiento cumple con los requisitos necesarios de la Norma Colombiana (NTC) 2060, en variables como PC y ceniza, siendo el único tratamiento, Asimismo, para determinar el adecuado comportamiento para la obtención del PC a partir del maíz se determinó la humedad, teniendo como resultado para Tusa con un 6,27% y el tallo con 6,06% entonces la eficiencia de combustión y la temperatura indica que tiene humedad adecuada” (2). Esta investigación es muy relevante para el trabajo de investigación, ya que aporta información relevante acerca de la elaboración de briquetas.

En la tesis "*Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de El Progreso, Jutiapa*" (7), se planteó como objetivo "calcular la composición óptima de residuos para elaborar briquetas, evaluar humedad, poder calorífico y valorar los bienes ambientales del uso de biocombustibles ecológicos como las briquetas a través del método estadístico; en cuanto al diseño es experimental, ya que se procedió a elaborar briquetas, utilizando diferentes cantidades de residuos de cáscara de granos de arroz y almidón a base de yuca para analizar y realizar el respectivo análisis. Los resultados obtenidos del aglutinante se seleccionaron por ser natural y por las mismas propiedades de adhesión que tiene. Asimismo, se realizó una comparación de distintos almidones, como de yuca, camote, papa y maíz; se sabe que estos tienen en 83%, 71%, 79% y 80.4% de amilopectina, este brinda la propiedad de apego o adhesión, cuanto mayor sea el contenido más pegajoso será el almidón, después de analizar este aspecto se prosiguió con la selección del almidón de la yuca que tenía un 83%, obteniendo el mayor porcentaje de amilopectina, pudiendo mejorar el grado de adhesión en las materias primas para la elaboración de briquetas, en cuanto a la humedad, esta se encuentra entre el intervalo de 48.21% - 48.78%, siendo este el comportamiento del grado de humedad en los distintos beneficios, se obtuvo también los resultados del poder calorífico, siendo este en promedio 14.11 MJ/kg, quiere decir que la cascarilla de arroz es una buena alternativa para sustituir a la leña tradicional, ya que cumple la misma función de generar calor" (7). Esta investigación es un gran aporte, ya que brinda información acerca de los aglutinantes.

En el artículo "*Briquetas energéticas a base de aserrín y cortezuela de pino*" (8), se planteó como objetivo "evaluar el aprovechamiento energético de los biocombustibles llamadas briquetas, elaboradas a base de aserrín y cortezuela de pino con el aprovechamiento de un adhesivo de resina de pino, para así obtener un origen de energía económica limpia y no contaminante, de uso y manejo fácil, a través del método del tipo descriptivo, se fundamenta en la recopilación de datos sin intervenir en los eventos estudiados. Los resultados obtenidos de la investigación realizada en las pruebas de laboratorio determinaron que los contenidos iniciales de la humedad de aserrín es 41%, y

de la cortesilla 19%, al poner el aserrín y cortesilla en el tamiz se observó que la gran parte de partículas de aserrín ingresan en un rango de 1,25 mm, asimismo, la cortesilla es de 0,5 mm. Los restos que quedan en el proceso de volatilización de la resina de pino, como adhesivo o aglutinante es muy práctico, ya que cumple con el objetivo establecido de obtener un producto uniforme y compacto, en relación a la estimación de parámetros, químicos, físicos, y mecánicos de las briquetas fabricadas o elaboradas de cortesilla y aserrín de pino; su calidad indica que es una buena opción para disminuir el uso del combustible (leña), y aprovechar los residuos boscosos que no cuentan con un tratamiento apropiado. En cuanto al PC de briquetas, estas oscilan en una categoría mayor a 4 200 kcal/kg, indicando que tiene una buena generación de calor” (8).

En la tesis “*Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector el Empalme*” (9), se planteó como objetivo “la preparación y caracterización fisicoquímica de las briquetas para usarlo como biocombustible sólido, con el fin de darle valor agregado a los residuos agroindustriales. Siguió una metodología exploratoria y experimental, estableciendo los diferentes porcentajes de residuos agroindustriales, determinando la mezcla óptima en la elaboración de briquetas ecológicas, que ha sido poco estudiado en el medio. Se obtuvo como resultado que el tamaño óptimo de la briqueta es de 10 cm, ya que presentó diferencia significativa en humedad con el (12,63%), y un elevado PC de (5025,06 kcal/kg), se concluye que el tamaño de las briquetas afecta la calidad y el rendimiento energético para usarlo como biocombustible sólido en la generación de calor. Asimismo, se observó diferencia significativa en las briquetas de formas cuadradas, afectando la calidad y el rendimiento energético” (9).

En la tesis “*Elaboración de briquetas de bagazo de Saccharum officinarum para mitigar las emisiones en el centro poblado El Invernillo, Pomalca*” (10), se planteó el objetivo “determinar la relación de la fabricación de briquetas a base del bagazo de *Saccharum officinarum* para poder mitigar las emisiones. A través del diseño no experimental, la muestra fue recolectada adrede, se midieron los gases emitidos y la eficiencia calorífica en el proceso de la combustión, los

resultados se basaron fundamentalmente en la observación, dando a conocer que para elaborar una briqueta eficiente se necesitan aditivos que generan una gran cantidad de calor, como las masas residuales de cultivos como el arroz, caña de azúcar, maíz, etc.” (10).

En la tesis “*Elaboración de briquetas a partir de residuos de aserrín aglutinados con almidón de maíz y su posible aplicación como aislante térmico*” (11), se plantea como objetivo “desarrollar una alternativa metodológica que favorezca al aprovechamiento sostenible de los residuos o restos de aserrín, analizando, a la vez, la posibilidad de su uso como un aislante térmico. A partir de ensayos preliminares se logró establecer un procedimiento para la elaboración de las briquetas cilíndricas, los resultados fueron que las briquetas se elaboraron con engrudo de almidón de maíz preparado al 14,3% en agua, con una formulación 30/70 aserrín/engrudo para el lote A y 20/80 aserrín/engrudo para el lote B, se concluye en el desarrollo de una metodología que podría establecerse como una opción para el aprovechamiento sostenible de los residuos de aserrín que provienen de la transformación de las maderas de pino” (11). Esta investigación es relevante para la tesis porque informa acerca del diseño cilíndrico de la briqueta y el aglutinante a base de maíz.

En la tesis “*Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa*” (3), se planteó como objetivo “analizar el tipo de las briquetas de carbón fabricadas y elaboradas de residuos que producen buena energía calorífica y de gran eficacia, además se analizaron los rasgos físicos de los restos de biomasa (bagazo de maíz, aserrín) para la elaboración de briquetas. A través del método de investigación de tipo descriptivo, el diseño de esta investigación es no experimental, no probabilístico, es por lo que se entiende como muestreo por conveniencia. Para el análisis de datos estadísticos se utilizó el software Minitab, con el fin que los análisis de las propiedades físicas se reúnan en la composición, calidad y textura de la biomasa o materia prima” (3). Esta investigación es relevante para la tesis porque da a conocer más información sobre la cantidad de materia prima a usar en la elaboración de briquetas.

En la tesis “*Evaluación del proceso de producción de briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto*” (12), se tuvo como objetivo “analizar el transcurso de producción de briquetas, a la vez realizar la identificación fisicoquímica del beneficio o producto. A través del tipo de método de investigación exploratorio, con enfoque mixto cuantitativo - cualitativo. Obteniendo como resultado que en el proceso de elaboración o producción de briquetas se observó que las variables de la producción influyen en el apretado o compactado de los residuos, que son el contenido de humedad de la biomasa, el horno de secado, caudal de alimentación de la biomasa y la temperatura de secado, respecto al horno, temperatura de gases y la demanda del combustible por hora” (12). Esta investigación es relevante para la tesis porque brinda información acerca del diseño y forma de la elaboración de la briqueta más factible.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

2.2.1.1. Briqueta

Es un biocombustible 100% ecológico, natural, innovador y renovable, lo catalogan como materia acumulada sólida, esta tiene varias formas, cuadrada, cilíndrica o ladrillos, el modo de uso de esta es similar a la de una leña tradicional, haciendo que se pueda usar en cualquier lugar donde se usa la leña, ejemplo: hornos, estufas, chimeneas, actividades industriales, salamandras o calderas (13).

Su diseño o forma de la briqueta compacta y uniforme hace que su transporte sea más fácil, su manipulación es limpia, utiliza un pequeño espacio para poder ser almacenado. Aparte de ello, pueden compactarse fácilmente sin contar con la obligación de algunos materiales o equipos para su uso en chimeneas (13).

Se dice también que la incineración de briquetas es constante, quieta y no contaminante, ya que no produce humos en

grandes cantidades, producen “1% de cenizas y tiene un valor alto de PC, 2.21 kg de briquetas pueden sustituir 1 litro de gasoil” (13).

a. Composición

Las briquetas son de diversos tipos, estas pueden estar fabricadas o elaboradas con diferentes materiales y estos son triturados, mezclados y compactados. La biomasa o materia prima de la briqueta es fácil de encontrar, ya que puede ser biomasa natural, residual o simplemente puede ser una mezcla de muchas biomásas (13).

La briqueta que tiene mejor calidad y es usada por muchas personas, es hecha con biomasa natural, dentro de ella se necesita aserrín, y no necesitan de ningún coagulante debido a que tienen humedad, como también lignina proveniente de la madera que es usada como un adhesivo natural (13).

Estas briquetas son en un 100% natural como también son ecológicas, debido a que están fabricadas con residuos agrícolas o restos forestales (el aserrín, ramas de árboles, restos de poda de árboles, etc.). Estos son triturados o molidos, posteriormente son secados para obtener un porcentaje muy bajo en humedad y finalmente son compactados y prensados para poder darle forma de una briqueta (13).

Este leño de “serrín prensado o compactado” tiene mayor PC que el de un leño tradicional, aparte de ello, esta nueva leña enciende con más facilidad y no se ve presencia de humos, tampoco malos olores (13).

b. Ventajas del producto

Las briquetas tienen muchas ventajas, que son: alto poder calorífico, más que el de la leña, encendido rápido, cuenta con una

baja humedad, con mayor densidad, espacios limpios, fáciles de usar, no tienen malos olores, no desprenden humo, tampoco chispas, tienen menor porcentaje de cenizas, aparte de ello, son 100% ecológicas y naturales (13).

c. Ventajas ambientales

También las briquetas cuentan con unas ventajas al ambiente, esas son: es de energía limpia y no contaminante, fuente renovable, su fabricación está a base de residuos forestales que ayudan a contribuir a la limpieza del entorno, es 100% reciclado, es también natural, no tóxico, no cuenta con ningún aditivo ni conservantes químicos, producen muy poca cantidad de humo, no genera malos olores, producen poca cantidad de cenizas, el CO₂ es neutro, evitando así el efecto invernadero, también el cambio climático y calentamiento global, aparte de ello, no genera un impacto ambiental negativo, y aporta con el ambiente de forma positiva, porque ayuda a preservar y cuidar el ambiente (13).

d. Humedad

Para obtener un producto de buena calidad no debe superar el 15% y que esté por encima del 8%, debajo de ello se obtiene adecuada aglomeración y si no está en estos rangos hay una compactación defectuosa (9).

2.2.1.2. Materia prima

a. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas son encontrados con facilidad, debido a que son considerados como desperdicios, en muchos casos estos son quemados directamente con la finalidad de producir energía calorífica o también ser sometidos a métodos térmicos o procesos mecánicos para la generación de muchos biocombustibles sólidos, por ejemplo, el carbón vegetal o las

briquetas. Al encontrar residuos en cantidad estos son más aptos para el agotamiento final de la energía. El objetivo de los residuos agrícolas, es analizar y evaluar el aumento de producción de residuos aprovechables que se cuenta para producir bioenergía, basados en la generación de los residuos respectivos de muchas siembras y sobre su uso existente (13).

De la misma manera, con la finalidad de contrarrestar la competitividad con los otros usos de restos agrícolas, se logró identificar el aumento de los restos o residuos que están usándose en la actualidad por las personas para la alimentación y el mantenimiento de sus animales. Este análisis toma en cuenta la importancia de suelos, en la estabilidad y fertilidad para la producción agrícola, sobre todo cuando se aplica una serie de fertilizantes u otras medidas agrotécnicas que no son las adecuadas o no son las óptimas (13).

Las personas que se dedican a la agricultura son conscientes de que, en cada temporada de siembra, siempre quedan los restos de la agricultura en el terreno, pero en muchas ocasiones no los toman en cuenta porque las personas o usuarios carecen de la información relativa con respecto a la cantidad de los residuos agrícolas que son dejados en el terreno o chacra, este instrumento brinda un valor, por defecto de 25% 6". Este aumento es destituido de los residuos agrícolas para la generación de bioenergía. Por otra parte, el aumento existente de residuos agrícolas que se generan de la agricultura son quemados en el terreno o en campo, pero también son considerados residuos potencialmente disponibles, como producir bioenergía; sin embargo, esta quema de los residuos agrícolas tiene muchos impactos negativos hacia el ambiente, alteración de la calidad del aire, entre otros impactos negativos en el suelo, también emiten

contaminantes como gases o vapor de efecto invernadero hacia la atmósfera (13).

Por ello se realizó un análisis donde el usuario proporcionó información sobre el área de generación, en el que se incineran los residuos agrícolas luego de cada cosecha. Se analizaron y se publicaron los datos de cada país y de no estar disponible en los datos determinados de cada estado, las personas o el usuario también pueden utilizar un determinado importe por defecto de un 10% de la zona o área de producción, que será utilizada para poder estimar la cantidad de quema de residuos agrícolas. Se analizaron 30 tipos de residuos agrícolas diferentes. Donde se incluyeron servicios por defecto para los diferentes tipos de residuos agrícolas, con respecto a la relación de los restos o residuos agrícolas de cultivos como, la investigación sobre utilidades de producción anual para un promedio de diez años y rendimientos de labranzas para diecisiete cultivos (13).

Se determinó que los sembríos que componían la base de los datos eran cultivos o siembras comerciales, eran usados continuamente y cuyos residuos generados tienen peculiaridades adecuadas para generar energía. Este análisis se puede realizar a nivel nacional o a un nivel internacional definido, en este caso, la información sobre el rendimiento de cultivos y todos los datos de producción coherentes deben ser proporcionados por las personas o usuarios (13).

En conclusión, el resultado final se obtuvo de la indagación relativa al aumento de residuos agrícolas disponibles para producir energía o bioenergía en t/año, el rendimiento de t/ha de residuos o restos agrícolas en la zona de producción (13).

Por ello, los resultados de que en estos “restos agropecuarios permanecen resumidos los efectos del análisis”. En esa unidad, el usuario o poblador deberá concretar el “tipo de alternativas tecnológicas a acoger para el uso final de energía a base de residuos”. Es por lo que, dependiendo de las diferentes tecnologías existentes, son asignadas las sumas que serán necesarias para la incineración directa, así como también el de briquetas como uso final en muchos aspectos, por ejemplo, calefacción y la cocina y también la combustión para la electrificación rural (13).

b. Papeles reciclados

Los papeles reciclados son dañinos para el medio ambiente, gasto para su recolección en las municipalidades y en la sociedad por los problemas derivados de la contaminación. Si el elemento es dañino, el principio 22 de la TRIZ recomienda transformarlo en algo benéfico (15).

c. Aserrín

Son residuos generados de la actividad forestal en la industria maderera. Esta materia prima es considerada porque posee cantidad de lignina, que hace que los materiales se adhieren y han sido usados para fabricar aglomerados de madera. Actualmente se están usando para la fabricación de briquetas debido a su alta producción de energía (13).

El aserrín es obtenido a base de los cortes de árboles o tallados de maderas, es muy diferente a la viruta a base de la madera, estos se desigualan por el tamaño de sus partículas, estas son similares debido a que los dos son reutilizables, es importante que estos no lleven barnices, tampoco impresiones que podría concentrar otras sustancias, esto perjudica el preparado orgánico. Tampoco pueden ser reutilizables los aserrines aglomerados de las

maderas que recibieron un tratamiento contra los hongos, ya que estas pueden llegar a ser muy tóxicas (16).

- **Propiedades del aserrín**

Tabla 1. Propiedades del aserrín

Características	Valor	Tamaño (mm)	% de peso
Contenido de humedad	15.5		
Densidad aparente (kg/m³)	167	>4.0	2.29
Valor calórico (MJ/kg)	17.86	4.0-3.35	2.32
Análisis elemental			
C	50.65	1.98-1.60	9.62
H	6.03	1.60-1.25	17.87
N	0.14	1.25-0.84	23.13
O	43.18	<0.84	18.24

Nota: tomada de Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de residuos de maíz (2)

- **Características**

Cuenta con características principales como, resistencia, dureza, rigidez y densidad. Al ser mayor grosor y mayor densidad cuentan con alta resistencia a la presión y muy baja a la tracción (2).

d. Aglutinante

Como función produce cohesión en sustancias para unir fragmentos, partículas de uno y varias materias primas por metodologías físicas, químicas. Para la elaboración o fabricación de briquetas los aglutinantes deben de cumplir ciertos requisitos (2).

Debe ser fácil su preparación, aplicación, obtención, mezcla, su costo debe ser bajo, no tiene que ser contaminante en la combustión, asimismo, debe presentar resistencia y una muy buena adhesión.

- **Tipo de aglutinante**

Pueden clasificarse en polímeros naturales, tales como el almidón de yuca, almidón de maíz y papa, aceites vegetales y resinas naturales, entre otros. Los polímeros sintéticos que son el alquitrán, también el sílice, asimismo la goma arábiga, también la cal, como sacarosa, los azúcares y glicocola y melaza (2).

Almidón de papa

El tubérculo de papa es un producto con alta humedad que está entre los 70% hasta 75%. Los carbohidratos de la papa incluyen el almidón, sacarosa, y la pectina. La amilosa y la amilopectina son el almidón del tubérculo, que contiene alta fuerza cohesionadora (17).

2.2.2. Fundamentos metodológicos y técnicos

2.2.2.1. Tipo de proceso de fabricación

Existen diferentes tipos de proceso para la elaboración de estos biocombustibles ecológicos, tales como la forma artesanal, también se encuentra la forma semiindustrial y la forma industrial, estos tipos de proceso requieren de diferentes máquinas y diferentes equipos para la elaboración de briquetas ecológicas (2).

Tabla 2. Tipos de proceso de fabricación

Artesanal	En este proceso no se necesita la intervención de tecnologías, y la cantidad es relativamente pequeña y los equipos para su construcción se pueden conseguir como molde, aglutinantes y la presión de compactación es baja hasta 5 MPa.
Semiindustrial	La humedad debe estar en rangos de 15% a 20%, si en caso la humedad presenta un mayor porcentaje al mencionado, este se desintegra al momento de secado. La presión de compactación va desde 5 a 100 MPa.
Industrial	En este proceso se emplean tecnologías, debido a que su producción es alta. La presión de compactación supera los 100 MPa. Las máquinas están compuestas por tolva, compresión, émbolos y motor y no es necesario el uso de aglutinantes por estar sometidos a alta temperatura.

Nota: tomada de Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín (18)

2.2.2.2. Procedimiento para su elaboración

Para lograr la elaboración de las briquetas ecológicas se debe cumplir con el protocolo de procedimiento para el proceso de producción. A continuación, se describen los pasos a seguir, pero no son definitivas ya que estas pueden ser ajustables de acuerdo a la realidad de las empresas (18).

- Paso 1: recolección de la materia prima
- Paso 2: limpieza de la materia prima
- Paso 3: triturado de materia prima
- Paso 4: pesado de materia prima
- Paso 5: mezcla de materias primas
- Paso 6: prensado de materias primas
- Paso 7: secado de briquetas
- Paso 8: almacenamiento de briqueta

2.3. Definición de términos básicos

- **Briqueta ecológica:** es un biocombustible eco amigable con el ambiente, a base de residuos agrícolas triturados, a la vez es un producto 100% renovable y ecológico, su forma de diseño es variado puede ser de forma cilíndrica, o puede tener la forma de ladrillos compactos, es usado como combustible, debido a que su funcionamiento es el mismo al de una leña en cocinas mejoradas, estufas, hornos, chimeneas, calderas u otras actividades industriales (13).
- **Ventajas de las briquetas:** estos biocombustibles ecológicos brindan ventajas ambientales, económicas y sociales, teniendo mayor poder calorífico que la leña al momento de su combustión, encendido rápido y fácil con una humedad baja, su densidad es alta, también son limpias y homogéneas, su manipulación es fácil, no hay generación de malos olores, humo ni chispas, para su fabricación el aglutinante a usar es de bajo costo, acumula menor porcentaje de cenizas, 100% ecológicas, naturales y eco amigables con el ambiente (13).

- **Residuos agrícolas:** son fracciones que se generan durante la temporada de cosecha, al incumplir con las exigencias de la calidad mínima no pueden ser comercializados como tal. Son obtenidos a partir de los restos de cultivos o de barridos que los agricultores realizan en el campo para evitar el aumento de plagas como también los incendios (19).
- **Bagazo de maíz:** durante la cosecha del maíz solo se aprovecha un 50% en forma de cereal o grano y lo demás genera biomasa en grandes cantidades, el hombre aprovecha en cosechar apenas 50% como ya se mencionó. Lo restante corresponde a diferentes partes de la planta tales como bagazo, hoja, chalas y mazorca, los tallos del maíz son considerados como bagazo y al ser cosechados generan grandes cantidades de residuos (20).
- **Residuos de paja:** son obtenidos a partir de la cosecha de trigo, avena, cebada, centeno, durante la época de trilla se generan los residuos, al contar con bajos rendimientos de grano generan mayor incremento de paja. La altura de corte afecta a la cantidad de residuos que quedan sobre el terreno, en muchos de los cultivos que son cosechados con cosechadoras automotrices se generan cortes muy altos, quedando así residuos en el campo (21).
- **Monóxido de carbono (CO):** conocido como gas o vapor tóxico que no tiene olor, color ni sabor, se emite como subproducto de los electrodomésticos, como caloríferos y automóviles, debido a que queman gasolina, también gas natural; madera, aceite, queroseno o también gas propano (22).
- **Agglutinante:** conocido como aquello que tiene la capacidad de conseguir que distintos elementos puedan unirse o adherirse entre sí con firmeza, para lograr un mejor resultado (23).
- **Diseño de briqueta:** es un proceso para la elaboración de briquetas ecológicas, ya que, gracias al diseño, el producto tendrá una forma apropiada y con las medidas exactas (13).

- **Residuos forestales:** son residuos obtenidos por la transformación primaria de la madera, incluye recorte de escombros, aserrín, virutas, escombros y corteza que son producidos en el campo e industrias que utilizan madera. Estos residuos se utilizan con fines energéticos (24).

Tabla 3. Tipos de residuos forestales

Residuos forestales	
Residuos de aserríos	Cortezas, aserrín
Residuos de ebanistería	Aserrín, trozos, astillas
Residuos de plantaciones	Ramas, cortezas, raíces

Nota: tomada de Elaboración de combustible ecológico, eficiente y amigable con el medio ambiente (25)

- **Combustión:** es la reacción por la cual el combustible, a partir de una determinada temperatura, se combina con el comburente que es el oxígeno para dar lugar a dos productos gaseosos como humo o gases y los sólidos que son las cenizas (7).

- **Humedad:** la humedad es uno de los parámetros muy importantes que influye en la eficiencia de la briqueta, si contiene alto contenido de humedad se necesitará generar energía para realizar el proceso de combustión y además afectará el poder calorífico (26).

Según la Norma Técnica Colombiana la briqueta prensada debe contener entre 8% - 10% de humedad para producir combustión eficiente, evitando emitir materia volátil (27).

- **Densidad:** es un parámetro importante, porque optimiza el almacenamiento y transporte al tener menos espacios. Si la densidad es mayor, la masa por el volumen de la briqueta también será mayor. Y a mayor presión ejercitada mejor será compactado (8).

- **Cenizas:** consideradas como residuos provenientes de la combustión, están presentes en la biomasa como las sales que están unidas químicamente hacia la estructura del carbón o como pequeñas partículas minerales. Existen dos tipos de cenizas, una de ellas es la que se queda en el fondo y la otra es la que se volatiliza. El contenido de cenizas en la biomasa va a depender del

tipo de cada una, en algunos casos para ciertas especies de la pulpa de madera puede ser bastante baja 0.5%, pero en cereales como en desechos de industrias agropecuarias es hasta 20% (7).

- **Temperatura:** considerada como una magnitud física, indica la energía interna de un cuerpo, objeto o también del medio ambiente en general, esta temperatura es medida por un termómetro, también se expresa en términos como calor y frío, el primero se asocia con una temperatura más alta, y el frío es asociado con una temperatura muy baja. Sus unidades de medida son los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), también los grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y, asimismo, los grados Kelvin (K) (28).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

La investigación se realizó en el distrito de Masma Chicche, perteneciente a la provincia de Jauja y al departamento de Junín, con longitud de 75.3775, latitud de 11.7833 y altitud de 3650 m s. n. m.

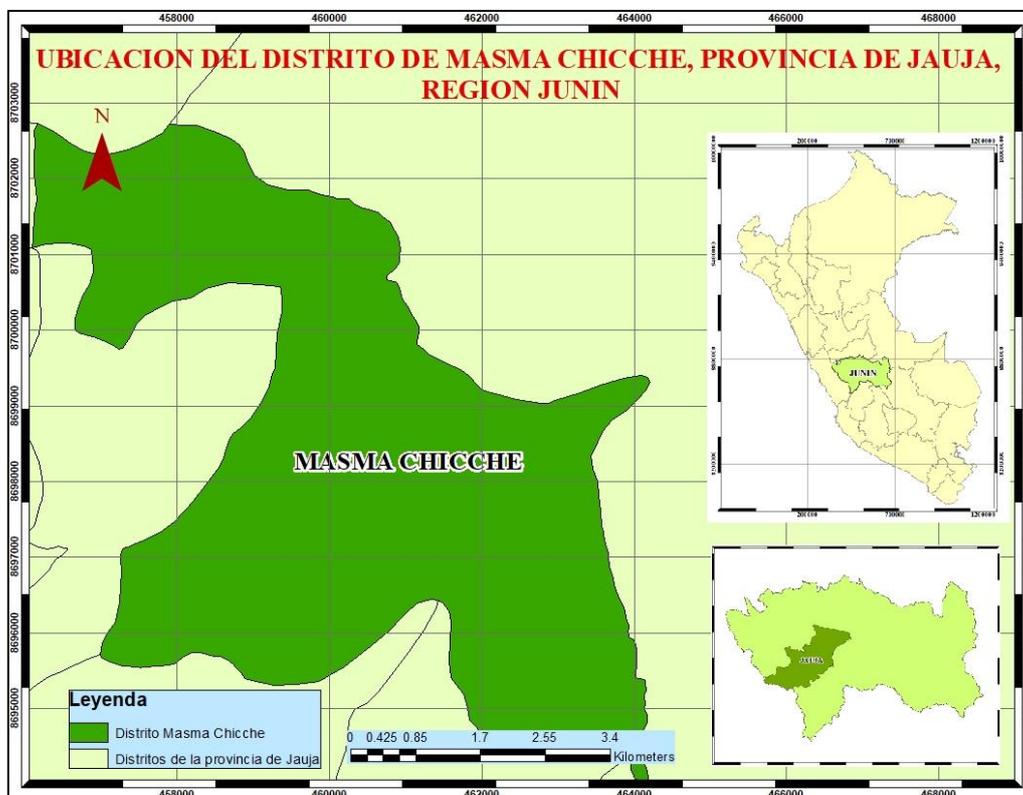


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del distrito

3.2. Método y alcance de investigación

3.2.1. Método de investigación

Es inductivo, ya que “este método explora y describe, además porque el proceso va de lo particular a lo general” (29). Se analizó la composición de materiales que serán empleados en la elaboración de briquetas. También se calculó la cantidad de residuos agrícolas e identificó el aglutinante natural para la elaboración.

3.2.2. Alcance de investigación

3.2.2.1. Tipo de investigación

La investigación es tecnológica, Bunge indica que el campo de investigación es diseño y planeación, que usa conocimientos científicos con fin de controlar cosas o procesos naturales de manera racional (30).

El tipo de investigación del estudio es de tipo mixto, debido a que “involucra un conjunto de técnicas de recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos como también cuantitativos en un mismo estudio, asimismo, porque requiere complementar los procedimientos uno de la otra” (29). Es cuantitativa porque se recogieron y analizaron datos cuantitativos sobre las variables. En esta investigación se midió la cantidad de residuos agrícolas usados, tiempo de combustión, porcentaje de humedad, ceniza y densidad. Y es cualitativo porque no hubo cuantificación, se realizan registros narrativos, contextos estructurales y situacionales. Dentro de esta investigación se evaluó la sustitución de briquetas ecológicas por residuos agrícolas, tipos de residuos agrícolas empleados en su elaboración y el diseño de prototipo de la briqueta ecológica (29).

Esta investigación es aplicada, porque da solución a problemas ambientales a partir de teorías. Las briquetas ecológicas serán la solución de problemas, principalmente como acumulación

de residuos agrícolas, evitando la quema a cielo abierto, al ser usados en estufas ecológicas emitirán pocos contaminantes.

3.2.2.2. Nivel de investigación

Es exploratoria, “este nivel es usado cuando se tiene por objetivo analizar o examinar un tema o problemática que no se abordó o trató antes o la investigación es poco estudiada o novedosa” (29).

3.3. Diseño de investigación

Es experimental, ya que “se manipula de forma intencional o deliberada la variable independiente, observando el efecto de la manipulación en la variable dependiente” (29), además la palabra experimento, da a entender que se realizará una acción y se observarán las consecuencias. En esta investigación se manipulan tratamientos de las variables independientes y se observa sus efectos sobre la variable dependiente en una situación de control. El diseño de investigación es experimento “puro”, este diseño incluye uno o más variables independientes y dependientes, utilizar prepruebas y pospruebas para evaluar el grupo de antes y después (29).

3.3.1. Tipo de diseño de investigación

El tipo de diseño empleado es experimental puro con posprueba únicamente y grupo de control, este diseño incluye más de dos grupos de comparación, con aglutinantes y sin aglutinantes (es el grupo control), se hace la asignación de manera aleatoria (29).

El diagrama del diseño de investigación es el siguiente:

RG ₁	X	O ₁
RG ₂	X	O ₂
RG ₃	X	O ₃
RG ₄	X	O ₄
RG ₅	-	O ₅

- R: asignación al azar o aleatoria
- G₁, G₂, G₃, G₄ y G₅ : grupo de sujetos o casos
- O₁, O₂, O₃, O₄ y O₅: medición después de la aplicación del tratamiento
- X: tratamiento experimental
- -: control o testigo

Este diseño incluye más de 2 grupos; cuatro reciben el tratamiento experimental (con aglutinante) y uno (sin aglutinante). Los sujetos se asignan a los grupos de manera aleatoria, al culminar la manipulación de ambos grupos se realiza la medición de variables en estudio que son propiedades físicas y químicas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

En esta investigación la técnica usada fue el de la observación, debido a que es un proceso que tiene como función general recolectar información sobre el objeto estudiado o se toma en estudio, se interpretó lo observado, para ello se tuvo como referencia al marco teórico, ya que es el requisito principal de esta investigación.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los materiales de campo que se usaron en esta investigación fueron, guardapolvo, guantes, mascarilla, costales o sacos de rafia, libreta de campo, cámara fotográfica, laptop, asimismo, un machete de tipo curvo para picar los residuos agrícolas, una balanza para medir el peso de los residuos agrícolas empleados en la elaboración de cada briqueta, termómetro, una maquina briquetadora artesanal y una prensa de tornillo tipo C.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de requerimientos

4.1.1. Requerimientos funcionales

Lo que el producto debe hacer es generar energía calorífica, reducir la generación de residuos agrícolas en la sociedad mediante su elaboración, en el entorno en el que se habita siempre existe generación de residuos, entre ellos están los residuos provenientes de la agricultura, estos residuos serán recolectados y empleados en la elaboración de este producto llamado briqueta, para después ser usado como biocombustible ecológico en estufas ecológicas para la cocción de los alimentos de las personas. Mediante la incineración de estas briquetas se sabe que no generan grandes cantidades de cenizas ni humo.

4.1.2. Requerimientos no funcionales

El producto debe ser 100% ecológico a base de residuos agrícolas y forestales, este producto que es la briqueta ecológica tendrá la forma trapezoidal con un agujero en el centro para que tenga un mejor secado e ingrese la aireación, las cualidades con las que cuenta este producto es que presenta menor porcentaje de cenizas, no presenta olores, humedad baja, menor espacio de almacenamiento, manipulación fácil, encendido rápido y temperaturas altas, buen rendimiento calorífico, de fácil acceso, disponibilidad de materias primas.

4.2. Análisis de la solución

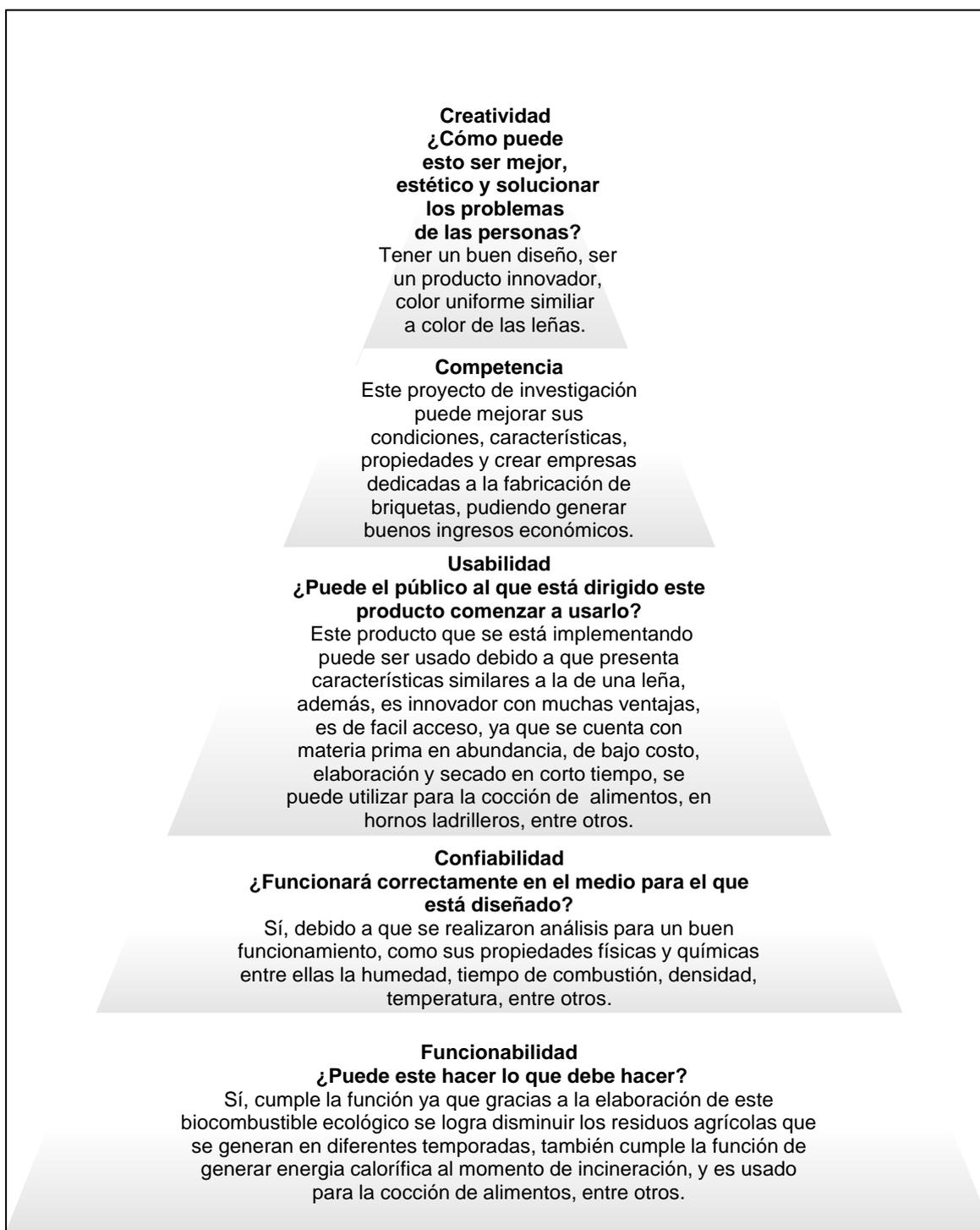


Figura 2. Análisis de solución

En la Figura 2 se presenta el análisis de solución de la investigación, que da a conocer si el proyecto será creativo, será competente, usable, confiable y si el producto funcionará y cumplirá con todo lo mencionado con lo que debe ser y hacer.

4.3. Diseño

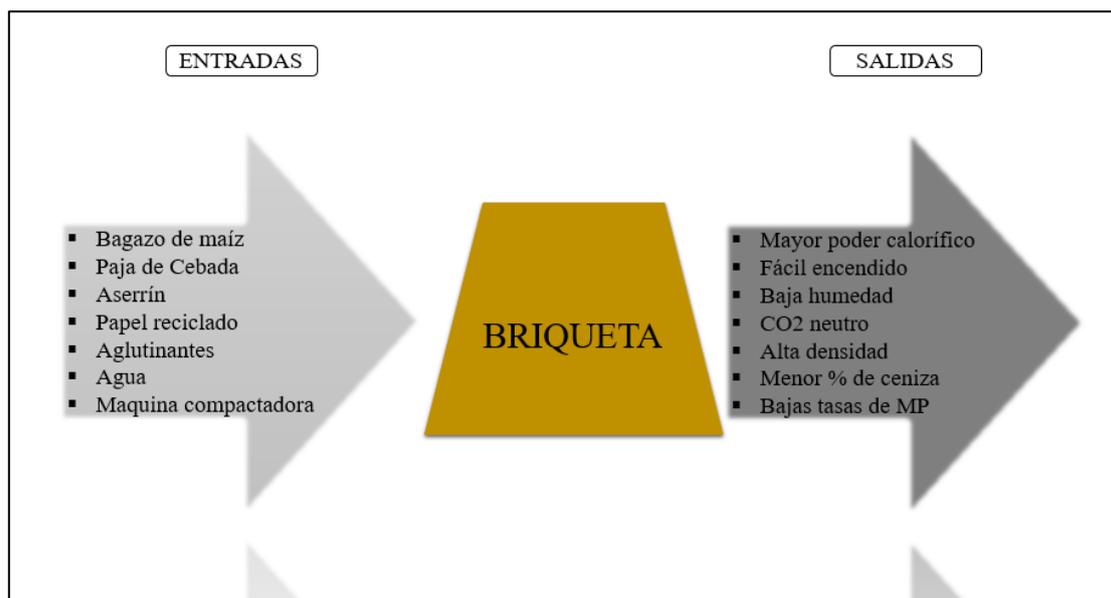


Figura 3. Caja negra del diseño de la briqueta

En la figura 3 se muestra el diseño de la caja negra donde, como entrada, se utilizaron las materias primas (bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado, aglutinantes, agua y la máquina compactadora) y como salida considerando (mayor poder calorífico, fácil encendido, baja humedad, alta densidad, menor porcentaje de ceniza).

La forma puede ser variable, esto depende de la máquina que se usa. Las briquetas fabricadas en la mayoría son cilíndricas, la sección octagonal con hueco al centro presenta una ignición rápida y eficiente (9). Otra de las formas es la sección rectangular, estos arden despacio, se puede almacenar mejor por ocupar menos volumen (2), se tomó en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, que en su numeral 3 informa las condiciones óptimas para la elaboración de briquetas. El tamaño debe ser mayor o igual a 3 cm como dimensión mínima. Para la combustión debe ser limpia y de fácil encendido, debe ser resistente para su almacenamiento y transporte, no deben deteriorarse. El aglutinante no debe ser tóxico, no debe producir gases irritantes durante su combustión. El diseño que se usó en la elaboración de briquetas fue la forma trapezoidal con un agujero en el centro, a continuación, ver figura 4:

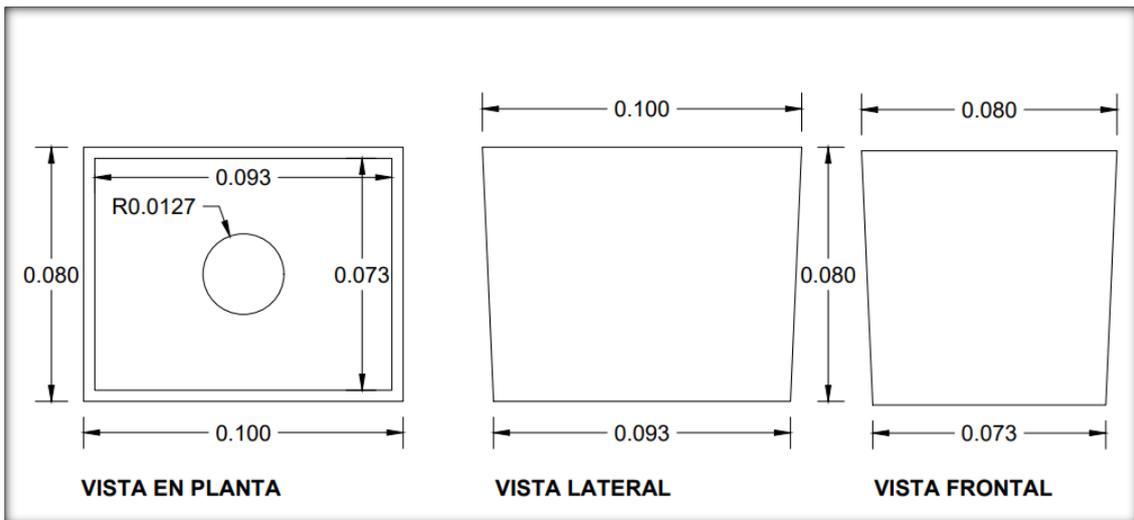


Figura 4. Vista en 2D del diseño de la briqueta con unidad de medida m

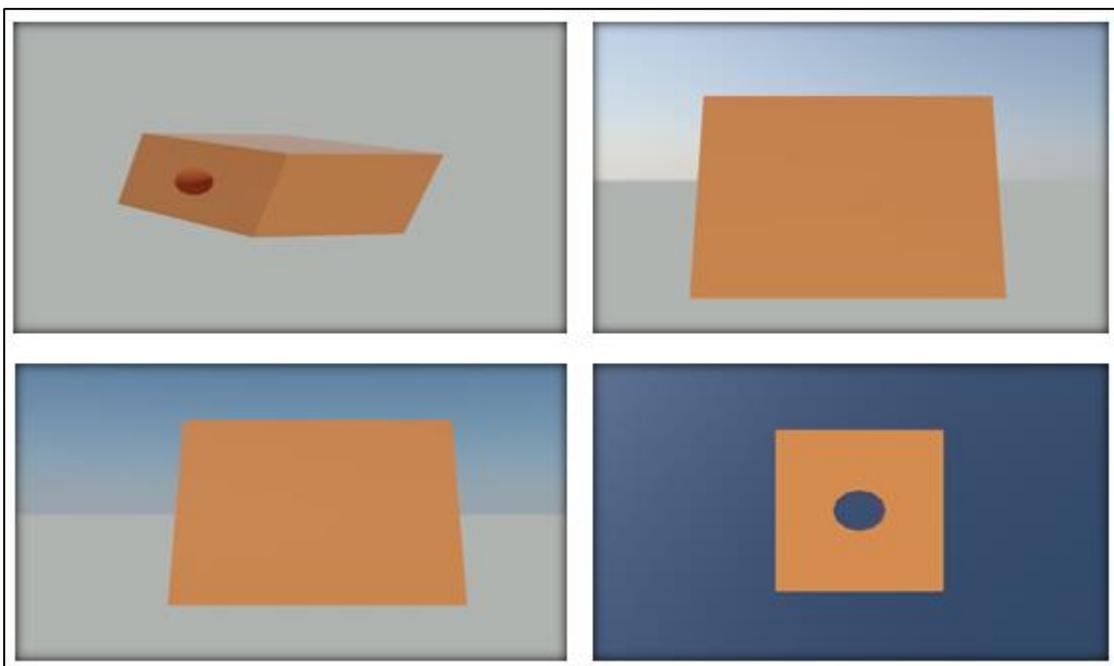


Figura 5. Vista en 3D del diseño de la briqueta

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN

5.1. Construcción

5.1.1. Procedimiento de la investigación

En primer lugar, se procedió a la identificación de residuos agrícolas que más generan en el distrito de Masma Chicche, entre ellos el bagazo de maíz, comúnmente conocido en la zona con el nombre de (chala) y la paja de cebada.

Se realizó la revisión de fuentes primarias y secundarias para tener idea del diseño, tamaño y elaboración. Se diseñó el molde que se usó para la elaboración de la briqueta y se consideró en forma trapezoidal con medida superior de 8 cm de altura, 8 cm de ancho y 10 cm de largo, asimismo, la medida inferior de 9.33 cm de largo, 7.3 cm de ancho y de radio 1.27 cm. Se consideró de forma trapezoidal, permite colocar de forma ordenada y con agujero en el centro que facilitará su secado ingresando aireación, será prensado con una prensa C de tipo tornillo.

Se recolectaron las materias primas, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada de forma manual, estos residuos se recolectaron de los desperdicios de alimentos de los animales y restos agrícolas, se recolectó un saco de tallo de bagazo de maíz y medio saco

de paja de cebada. El aserrín es procedente de los residuos forestales; se consiguió esta materia prima del cortado de árboles de eucalipto, pino, queñuales, alisos de la zona. Los papeles reciclados fueron obtenidos de los trabajos que se realizaron en la universidad y los aglutinantes como el almidón de papa, maíz y sábila son obtenidos del mismo distrito. Se eligieron estas materias primas debido a que son fáciles de conseguir y hay en cantidad en la zona.

Se limpió la materia prima que se obtuvo de los campos y comederos de los animales, debido a que algunos contienen materiales de suelo que no es necesario para su elaboración.

Luego se trituraron los materiales, se cortó con un machete de tipo curvo los residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada. Luego se utilizó un tamiz de 5 mm para reducir el tamaño, que resulta óptimo para la elaboración de briquetas ecológicas y para un buen acabado.

Posteriormente, se elaboraron y se obtuvo los aglutinantes, almidón de papa, maíz y el gel de sábila. Para obtener el almidón de papa se descascaró el tubérculo, luego se confinó con rallador, después con el apoyo de un colador se aplastó hasta no tener agua y finalmente se echó 500 ml de agua y se mezcló. El almidón de maíz se obtuvo moliendo con la máquina de granos, pero en este caso se molió el elote. En el caso de gel de sábila, primero se quitaron los residuos de la parte exterior y las espinillas de los costados, luego, con ayuda de un cuchillo se procedió a quitar el gel y licuó con ayuda de una licuadora para obtener una mezcla homogénea.

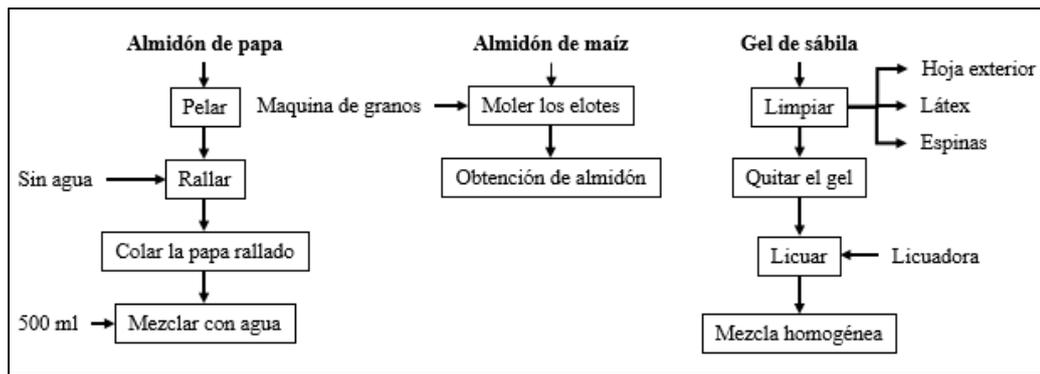


Figura 6. Obtención de aglutinantes

Se pesaron las materias primas trituradas para los cinco tratamientos, 150 g de paja de cebada, 250 g de bagazo de maíz o chala, 750 g de aserrín, 5000 g de papel húmedo reciclado y 750 g de aglutinantes diferentes, luego, se distribuyó la cantidad de materia prima a cada tratamiento, se prosiguió a elaborar 6 briquetas por cada tratamiento, con diferentes proporciones, teniendo así un total de 30 briquetas, esto con el fin de obtener buenos resultados.

Después del triturado y pesado se mezcló en un balde con apoyo de una vara de madera las materias primas de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel húmedo reciclado y aglutinantes (almidón de papa, maíz y gel de sábila).

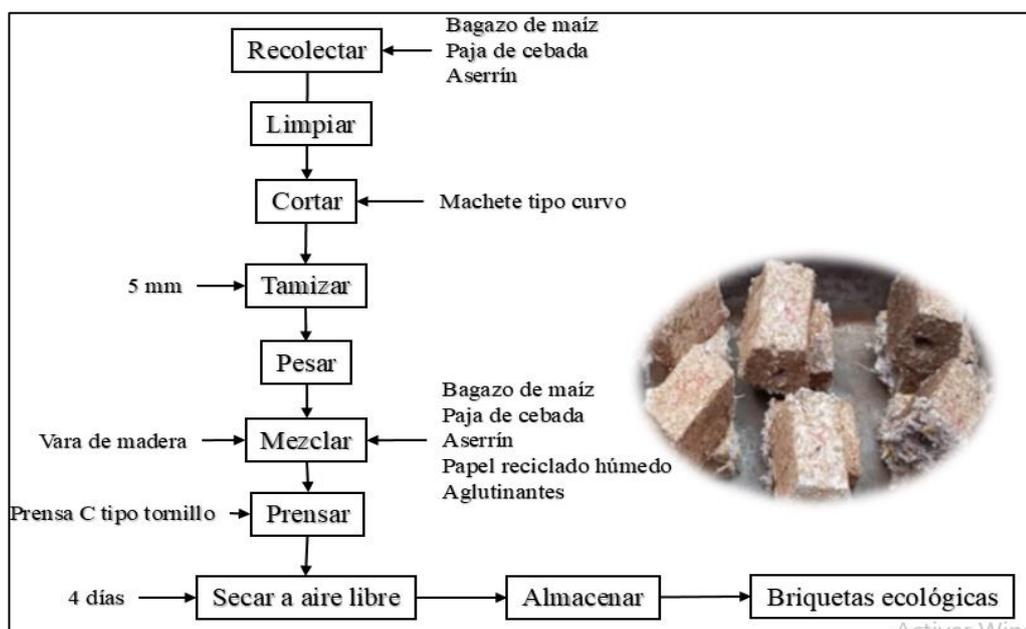


Figura 7. Proceso de elaboración de briquetas

La mezcla de los materiales es muy importante antes de la compactación de la briqueta, para esto es esencial considerar la humedad de los materiales, aglutinantes, tamaño de partículas, tiempo, cantidad de agua.

Se prensaron las materias primas, una vez realizada la mezcla, la biomasa se pone en el molde de forma trapezoidal. Este procedimiento es muy fácil ya que solo es verter la mezcla obtenida y se prensa mediante la ayuda de una prensa C de tipo tornillo, que ejerce una presión máxima de 7300 lb.

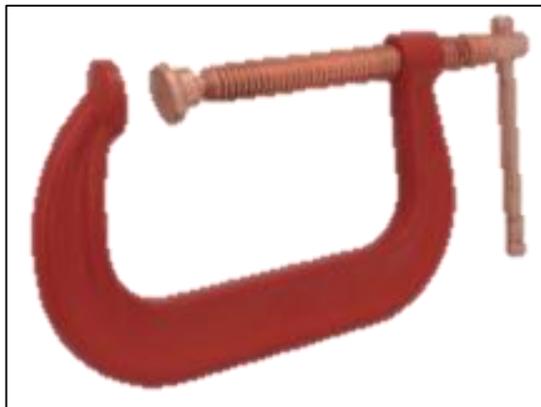


Figura 8. Prensa tipo C (31)

El secado de briquetas se logró aproximadamente en cuatro días soleados, una vez que la briqueta es retirada del molde esta se pone a secar al aire libre. Luego se almacenó para posteriormente hacer el análisis de las propiedades físicas y químicas, o también se almacena para usarlos en la combustión. Finalmente, una vez secada la briqueta se procedió al análisis de tiempo de combustión de cada briqueta según el tipo de aglutinante que se usó. También el tiempo de encendido, porcentaje de humedad, ceniza y densidad para así concluir si la briqueta es de buena calidad.

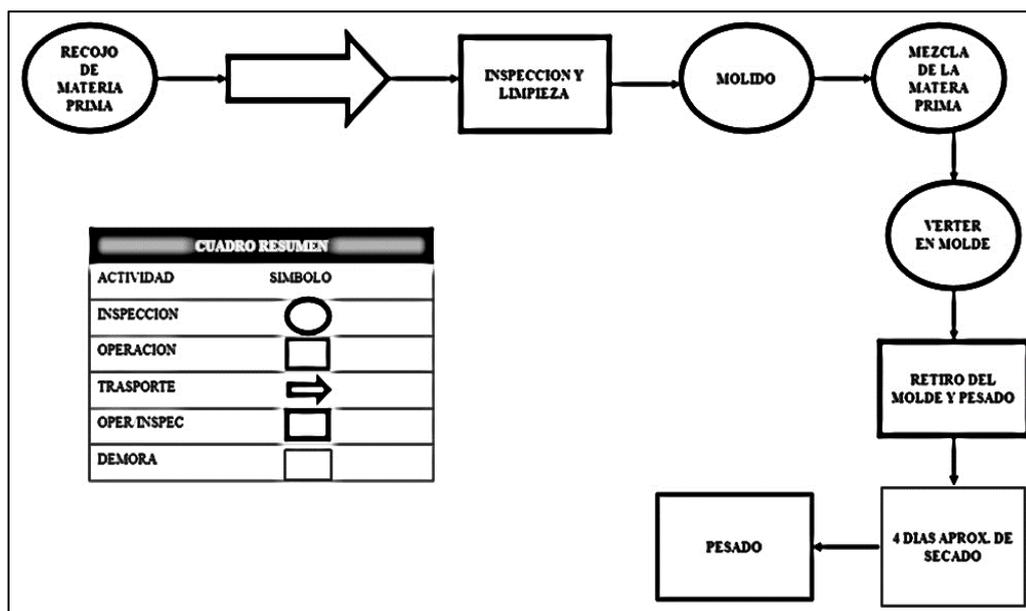


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso

5.1.2. Factor de estudio

El factor de estudio es la mezcla de insumos para la elaboración de briqueta. Los insumos son los residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado húmedo, agua y aglutinantes para la elaboración de briquetas. Se consideraron cinco tratamientos con distintos aglutinantes.

Tabla 4. Factor en estudio

T	Bagazo de maíz (g)	Paja de cebada (g)	Papel reciclado (g)	Aserrín (g)	Aglutinante				Agua (ml)
					Almidón de papa (g)	Almidón de maíz (g)	Aloe vera (g)	Mixto (g)	
T1	50	30	1000	150		150			3000
T2	50	30	1000	150	150				3000
T3	50	30	1000	150			150		3000
T4	50	30	1000	150	50	50	50	150	3000
T5	50	30	1000	150					3000
Total	250	150	5000	750					

5.1.3. Análisis de propiedades físicas y químicas

Durante la elaboración y combustión de los tratamientos que son las briquetas, se consideró la medición de parámetros físicos y químicos como porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, densidad,

temperatura y tiempo de combustión, estos influyen el comportamiento energético de la briqueta. Además, garantizan la calidad de la briqueta.

5.1.3.1. Análisis de propiedades físicas

a. Porcentaje de humedad

Es la cantidad de agua presente en la masa de la muestra, que puede ser inherente o superficial. Lo superficial se elimina mediante el aire y la humedad inherente, se elimina al ser secado a temperatura de 15 °C. El contenido de humedad de la biomasa es muy importante, porque a mayor humedad menor es el poder calorífico. De esto depende el buen rendimiento de las briquetas (7).

Esta propiedad es importante, debido a que tiene una relación indirecta con el poder calorífico. Es decir, a mayor humedad disminuye el poder calorífico. Para hallar el poder calorífico se usó la siguiente fórmula.

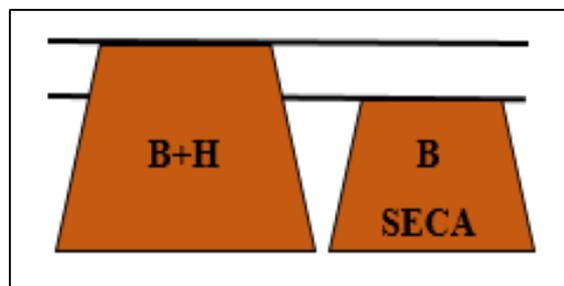


Figura 10. Muestra de la briqueta húmeda y seca

$$\%H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} * 100$$

b. Densidad

La briqueta una vez secada y alcanzada entre rangos de 9% a 12% de humedad, la densidad se calculó tomando en cuenta la relación de entre la masa de la briqueta y su volumen. Como se muestra en la siguiente ecuación.

$$= \frac{\text{Masa de materia}}{\text{Volumen de materia}}$$

c. Temperatura

La medición de la temperatura se realizó en varios tiempos, la primera fue a los 15 minutos, la segunda a los 30 minutos, y al final de la combustión.

5.1.3.2. Análisis de propiedades químicas

a. Porcentaje de ceniza

Las cenizas son producto de la combustión de un combustible, están compuestas por sustancias no combustibles como sales minerales que se queda en forma de polvo en el lugar donde ha quemado el combustible (32).

Para hallar el porcentaje de cenizas se utiliza la relación de peso de los residuos de muestra y el peso de la muestra. Como se muestra en la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W \text{ del residuo de muestra}}{W \text{ de la muestra}} * 100$$

b. Tiempo de combustión

Proceso exotérmico, la biomasa se junta con el oxígeno del aire para producir calor. Primero, la biomasa pasa por el proceso de pirólisis para después sufrir una combustión parcial, una gasificación antes de alcanzar la combustión completa. Se concluye que la combustión de la biomasa es más compleja que la pirólisis y la gasificación (32).

5.2. Pruebas y resultado

5.2.1. Tipos de residuos que son utilizados en la elaboración

Para determinar los tipos de residuos se procedió a la identificación de residuos agrícolas que más se generan en el distrito de Masma

Chicche durante la temporada de cosecha y la temporada seca, entre ellos se identificó al bagazo de maíz o comúnmente conocido en la zona con el nombre de chala y la paja de cebada, asimismo, al residuo forestal que es el aserrín proveniente del corte de árboles de eucalipto. Se observó gran cantidad de desperdicios de estas materias que son usados como alimento del ganado vacuno, ovino, equino y de animales menores como el cuy y conejo.

El aserrín también se puede apreciar en cantidad en los lugares que sacan madera de pino, eucaliptos, entre otros árboles forestales. Y además, los aglutinantes se pueden obtener fácilmente en el distrito, en el caso de almidón de papa es más accesible debido a que en la altura del distrito producen la papa *shiri*, esta papa es la que contiene mayor almidón que los demás.

a. Bagazo de maíz

Fue seleccionado este residuo agrícola, debido a que es generado en gran cantidad en la zona, ya que los animales no lo consumen en su totalidad.

Además, por su aporte energético, teniendo un poder calorífico superior de 18.4 MJ/kg y poder calorífico inferior de 17.1MJ/kg (33). Debido a su alto poder calorífico se eligió este residuo.

Se calculó la eficiencia del bagazo de maíz con la leña que más usan en el distrito de Masma Chicche que es el eucalipto serrano con nombre científico *Eucalyptus globulus*.

En el distrito de Masma Chicche, el combustible más usado es la leña de eucalipto, luego leña de pino, queñuales, aliso y otros. Su poder calorífico del *Eucalyptus globulus* es 18.1 MJ/kg (34).

$$\text{Eficiencia del bagazo de maíz} = \frac{\text{PC de bagazo de maíz}}{\text{PC del eucalipto}} * 100$$

$$\text{Eficiencia del bagazo de maíz} = \frac{17.1\text{MJ/kg}}{18.1\text{MJ/kg}} * 100 = 94.48\%$$

b. Paja de cebada

Es otro de los residuos agrícolas que se usó, ya que este también se desperdicia en gran cantidad. Su poder calorífico inferior es 16.2MJ/kg (35).

Cálculo de la eficiencia de la paja de la cebada con la leña que más usan en el distrito de Masma Chicche que es el eucalipto serrano con nombre científico *Eucalyptus globulus*.

$$\text{Eficiencia de la paja de cebada} = \frac{\text{PC de paja de cebada}}{\text{PC del eucalipto}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de la paja de cebada} = \frac{16.2\text{MJ/kg}}{18.1\text{MJ/kg}} * 100 = 89.50\%$$

c. Aserrín

Se eligió el aserrín debido a sus pequeñas partículas, esto ayuda y facilita su adhesión en la mezcla para la elaboración de briquetas y también porque este residuo está al alcance de los pobladores, ya que hay tala de árboles en el distrito.

El aserrín tiene un poder calorífico superior de 19.4 MJ/kg y poder calorífico inferior 15.0 MJ/kg (33).

El poder calorífico es una de las propiedades importantes, porque es la cantidad de energía que se desprende una vez combustionado. Alto poder calorífico indica calidad y bajo poder calorífico indican mala calidad. Por lo tanto, una briqueta fabricada con el subproducto de aserrín con alto nivel de energía presenta alto poder calorífico (9).

Se comparó la eficiencia del aserrín con la leña que más usan en el distrito de Masma Chicche que es el eucalipto serrano con nombre científico *Eucalyptus globulus*.

$$\text{Eficiencia del aserrín} = \frac{\text{PC del aserrín}}{\text{PC del eucalipto}} * 100$$

$$\text{Eficiencia del aserrín} = \frac{15.0\text{MJ/kg}}{18.1\text{MJ/kg}} * 100 = 82.87\%$$

d. Papel reciclado

Este material está elaborado al 100% con fibras de eucalipto, tiene propiedades de resistencia y composición (26). Su poder calorífico es 16.8 MJ/kg (33).

El papel está hecho de fibras de celulosa que se encuentran en la madera. Estas han sido molidas, blanqueadas, desleídas en agua, secadas y endurecidas luego las fibras de papel están aglutinadas mediante enlace por puentes de hidrógeno. Al ser mezclado el papel con las demás materias ayuda a reducir la porosidad de la briqueta y aumenta su grado de adhesión y rigidez (23).

Se comparó la eficiencia del papel reciclado con la leña que más usan en el distrito de Masma Chicche que es el eucalipto serrano con nombre científico *Eucalyptus globulus*.

$$\text{Eficiencia del papel reciclado} = \frac{\text{PC de papel reciclado}}{\text{PC del eucalipto}} * 100$$

$$\text{Eficiencia del papel reciclado} = \frac{16.8\text{MJ/kg}}{18.1\text{MJ/kg}} * 100 = 92.82\%$$

Tabla 5. Eficiencia de combustión de los residuos a usar

Leña	Bagazo de maíz	Paja de cebada	Aserrín	Papel reciclado
100%	94.48%	89.50%	82.87%	92.82%

En la tabla 5 se observa que las materias primas usadas, presentan alta eficiencia de combustión debido a que tienen alto poder calorífico, deduciendo que el producto final es de buena calidad. Para hallar la eficiencia se trabajó con el poder calorífico bajo de cada materia prima.

e. Aglutinantes

Para la elección de los aglutinantes se tuvo en cuenta la disponibilidad de estos en la zona, debido a que existe siembra de papas y maíz, se eligió trabajar con el almidón de ambos, (almidón de papa y maíz), también se eligió el gel de la sábila debido a que es fácil de encontrar en la zona, además está al alcance y disponibilidad de las personas.

Los almidones de papa y maíz son sustancias que dan adhesión y evitan que las briquetas se desintegran y se deforman. Estos contienen un nivel de glucosa alto, libre de olor y sabor. Está formado por la mezcla de amilosa y amilopectina. Si el almidón contiene más amilopectina, el producto es más adhesivo (7).

Tabla 6. Componente de almidones

Componente (%)	Maíz (%)	Papa (%)
Amilosa	28.3	21
Amilopectina	71.7	79

Nota: tomada de Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz (7).

5.2.2. Diseño del prototipo de briqueta ecológica

Las briquetas pueden ser de formas muy distintas, esto varía dependiendo la aplicación del producto, ya sean estufas, hornos, también se pueden usar en los hornos de ladrilleras, entre otros (9); la más recomendada es la de forma rectangular debido a su mayor densidad y duración, ya que su combustión es lenta a diferencia de la cilíndrica que es muy rápida, además ocupa menos espacio de almacenamiento, también pueden ser ordenadas de forma organizada y no se desintegran fácilmente al ser trasladados o movidos de lugar.

En esta investigación se realizó el diseño de forma trapezoidal, ya que guarda una similitud con la rectangular, además porque su almacenamiento será de forma apilado, aparte de ello facilita el proceso de prensado y compactación sin el uso de componentes químicos, por lo tanto, se tuvo en cuenta el tamaño de las briquetas debido a que las entradas de las estufas ecológicas tienen una medida de 28 cm de largo y 20 cm de altura.

Para ello se consideró la medida superior de 8 cm de altura, 8 cm de ancho y 10 cm de largo; asimismo, la medida inferior de 9.33 cm de largo, 7.3 cm de ancho y de radio 1.27 cm.

Para que una briketa sea de buena calidad, el tamaño óptimo debe ser de 10 cm, presentando una humedad de 12,63% con un poder calorífico y concluye que el tamaño afecta la calidad y rendimiento energético de las briquetas.

5.2.3. Tiempo de combustión según el aglutinante usado

Para determinar el tiempo de combustión se midió con un cronómetro digital desde que comenzó la combustión hasta finalizar. En las siguientes tablas se muestra el tiempo de combustión de cada briketa.

Tabla 7. Combustión del tratamiento 1 con almidón de maíz

Combustión del tratamiento 1		
Ensayos	Tiempo de combustión (min)	Temperatura (°C)
1	38.2	1 min T°(ini)= 47.5
		15 min=33.3
		30 min=40.9
		38.2 T°(fin)=36.3
2	35.5	1 min T°(ini)=37.2
		15 min=40.6
		30 min=41.3
		35.5 T°(fin)=41.5
3	25.2	1 min T°(ini)=40.4
		15 min=41.5
		25.2 T°(fin)=41.4
		1 min T°(ini)=36.8
4	37.17	15 min=42.4
		30 min=42.7
		37.17 T°(fin)=41.9
		1 min T°(ini)=41.1
5	38.4	15 min=41.00
		30 min=41.4
		38.40 T°(fin)=36.2
		1 min T°(ini)=48.8
6	33.14	15 min=37.0
		30 min=42.5
		33.14 min T°(fin)=37.6
		Promedio

En el **tratamiento 1**, las briquetas fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y el aglutinante que es el almidón de maíz. Se realizaron 6 ensayos de briquetas y el promedio del tiempo de combustión fue 35 minutos, y se muestra la temperatura en 1 minuto, 15 minutos, 30 minutos y el final donde culmina su proceso de combustión.

Tabla 8. Combustión del tratamiento 2 con almidón de papa

Combustión del tratamiento 2		
Ensayos	Tiempo de combustión (min)	Temperatura (°C)
1	52.04	1 min T°(ini)= 42.6
		15 min=42.7
		30 min=42.3
		52.4 T°(fin)=41.7
		1 min T°(ini)=42.9
2	61	15 min=42.8
		30 min=42.8
		61.0 min T°(fin)=42.5
		1 min T°(ini)=42.8
		15 min=42.9
3	45.02	30 min=42.6
		45.02 min T°(fin)=42.8
		1 min T°(ini)=42.5
		15 min=41.9
		30 min=42.3
4	58.45	58.45 min T°(fin)=42.4
		1 min T°(ini)=41.7
		15 min=41.6
		30 min=41.6
		58.45 min T°(fin)=42.4
5	60.25	1 min T°(ini)=41.8
		15 min=41.4
		30 min=42.1
		60.19 min T°(fin)=42.1
		60.19 min T°(fin)=42.1
Promedio	56.16	

En el **tratamiento 2**, las briquetas fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y el aglutinante que es el almidón de papa. Se realizaron 6 ensayos de briquetas con diferentes proporciones y el promedio del tiempo de combustión fue 56.16 minutos, en la siguiente tabla se muestra la temperatura en 1 minuto, 15 minutos, 30 minutos y el final donde culmina su proceso de combustión.

Tabla 9. Combustión del tratamiento 3 con gel de sábila

Combustión del tratamiento 3		
Ensayos	Tiempo de combustión (min)	Temperatura (°C)
1	19.02	1 min T°(ini)= 42.7
		15 min=41.6
		19.02 min T°(fi)=42.5
2	20.01	1 min T°(ini)=42.8
		15 min=42.6
		20.01 min T°(fin)=42.2
3	21.05	1 min T°(ini)=42.9
		15 min=42.0
		21.05 min T°(fin)=42.3
4	23.05	1 min T°(ini)=38.8
		15 min=42.9
		23.05 min T°(fin)=41.5
5	20.08	1 min T°(ini)=41.9
		15 min=42.9
		20.08 min T°(fin)=41.2
6	21.06	1 min T°(ini)=42.8
		15 min=42.0
		21.06 min T°(fin)=42.9
Promedio	21.11	

En el **tratamiento 3**, las briquetas fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y el gel de sábila. Se realizaron 6 ensayos de briquetas con diferentes proporciones y el promedio del tiempo de incineración o combustión fue 21.11 minutos, en la siguiente tabla se muestra el tiempo de encendido, tiempo de combustión y la temperatura en 1 minuto, 15 minutos y el final donde culmina su proceso de combustión.

Tabla 10. Combustión del tratamiento 4 con los 3 aglutinantes

Combustión del tratamiento 4		
Ensayos	Tiempo de combustión (min)	Temperatura (°C)
1	54.09	1 min T°(ini)= 39.08
		15 min=34.0
		30 min=37.1
		54.09 min T°(fin)=42.1
		1 min T°(ini)=41.05
2	41	15 min=42.9
		30 min=36.0
		41.00 min T°(fin)=42.7
		1 min T°(ini)=37.1
		15 min=35.2
3	51.13	30 min=42.6
		51.13 min T°(fin)=42.5
		1 min T°(ini)=41.2
		15 min=42.6
		30 min=42.9
4	34.06	34.06 min T°(fin)=42.4
		1 min T°(ini)=37.1
		15 min=35.5
		30 min=42.00
		36.48 min T°(fin)=42.9
5	36.48	1 min T°(ini)=41.2
		15 min=41.8
		30 min=41.8
		36.00 min T°(fin)=42.7
		Promedio 42.13

En el **tratamiento 4**, las briquetas fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y el aglutinante que es la mezcla de los 3 aglutinantes (almidón de maíz, almidón de papa y gel de sábila). Se realizaron 6 ensayos de briquetas con diferentes proporciones y el promedio del tiempo de incineración o combustión fue 42.13 minutos, en la siguiente tabla se muestra la temperatura en 1 minuto, 15 minutos, 30 minutos y el final donde culmina su proceso de combustión.

Tabla 11. Combustión del tratamiento 5 sin aglutinante

Combustión del tratamiento 5		
Ensayos	Tiempo de combustión (min)	Temperatura (°C)
1	35.58	1 min T°(ini)= 41.7
		15 min=40.1
		30 min=41.9
		35.58 min T°(fin)=41.7
2	39.56	1 min T°(ini)=42.08
		15 min=42.04
		30 min=42.09
		39.56 min T°(fn)=42.03
3	46.2	1 min T°(ini)=42.03
		15 min=40.06
		30 min=42.07
		46.20 min T°(fin)=42.09
4	17.19	1 min T°(ini)=42.1
		15 min=41.6
		17.19 min T°(fin)=42.1
5	23.11	1 min T°(ini)=42.4
		15 min=40.00
		23.11 min T°(fin)=41.03
6	15	1 min T°(ini)=42.9
		15 min=42.8
		15.00 min T°(fin)=41.08
Promedio	29.44	

En el **tratamiento 5**, las briquetas fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y sin aglutinante. Se realizaron 6 ensayos de briquetas con diferentes proporciones y el promedio del tiempo de incineración o combustión fue 29.44 minutos, en la siguiente tabla se muestra la temperatura en 1 minuto, 15 minutos, 30 minutos y el final donde culmina su proceso de combustión.

A continuación, se presentan datos estadísticos del tiempo de combustión de acuerdo a los tratamientos.

Tabla 12. Cuadro de análisis de la varianza para el tiempo de combustión

Cuadro de análisis de la varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	4324.62	4	1081.16	17.82	<0.0001
Error	1517.08	25	60.68		
Total	5841.7	29			

En la tabla 12 se realizó el análisis de varianza para la variable de combustión. Donde el valor-P de la prueba $-F$ es menor que 0.05, esto menciona que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de tiempo de combustión con un nivel de confianza al 95%. Por ello se aplicó la prueba de Tukey.

Tabla 13. Medias y grupos homogéneos

Prueba: Tukey		
Error: 60.6830	Gl:25	
Tratamientos	Medias	
2	56.16	A
4	42.13	B
1	34.6	B
5	29.44	B C
3	20.71	C

En la tabla 13 se demostró por medio de la prueba Tukey, se identificaron tres grupos homogéneos; el primero lo conforma el tratamiento 2, el segundo grupo homogéneo es el tratamiento 4, 1 y 5, el tercer grupo es el tratamiento 5 y 3.

Para identificar cuál de los tratamientos presentó mayor y menor tiempo de combustión se presentó la siguiente figura, donde cada tratamiento presenta su respectivo tiempo de combustión.

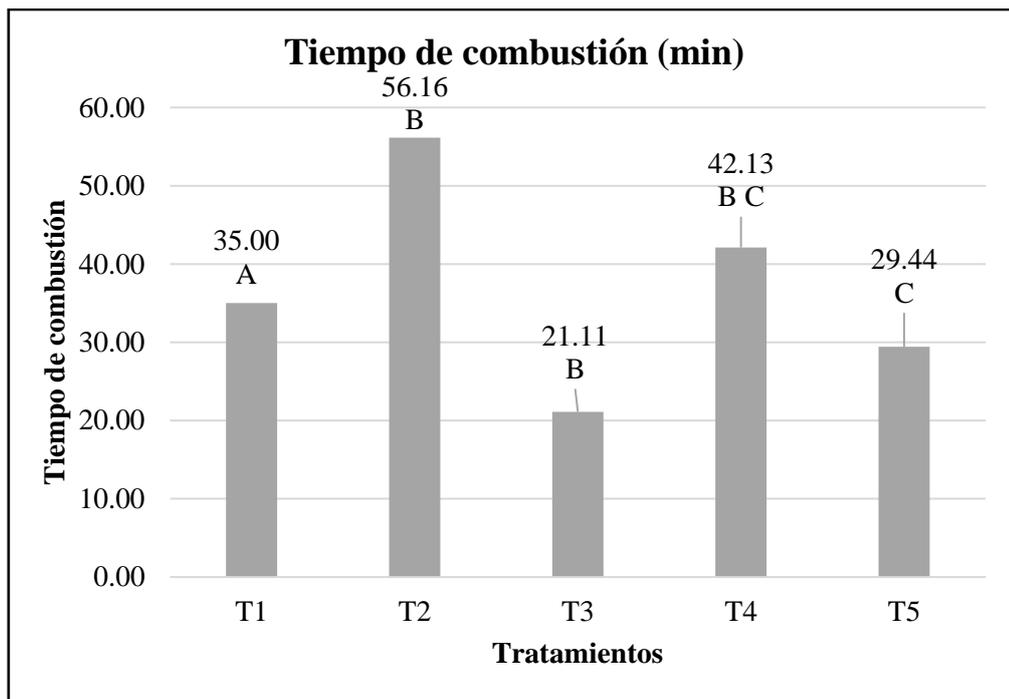


Figura 11. Tiempo de combustión de briquetas de los 5 tratamientos

En la figura 11, las briquetas que presentaron mayor tiempo de combustión fueron las del tratamiento 2 con el aglutinante de almidón de papa, con 56.16 minutos, asimismo, las briquetas que presentaron menor tiempo de combustión fueron las del tratamiento 3, que usó como aglutinante el gel de sábila y el tiempo fue 21.11 minutos. El tratamiento 1 presentó la combustión de 35.00 minutos, este tratamiento usó el aglutinante de almidón de maíz. El tratamiento 4 presentó combustión de 42.13 minutos hecha con la mezcla de todos los aglutinantes (almidón de maíz y papa, gel de sábila). Y el último tratamiento presentó combustión de 29.44 min y fue hecho sin aglutinante.

En la investigación de Valiente (7) el tiempo de combustión de la briqueta está entre los rangos de 69.1 minutos y 70.8 minutos y una leña también está entre 69.0 ± 0.005 minutos y 70.5 ± 0.005 minutos, por lo que se deduce que el tratamiento 2 con el aglutinante de almidón de papa se acerca a los resultados de Valiente (7) debido a que el tiempo de combustión es 56.16 minutos.

5.2.4. Porcentaje de humedad, cenizas y densidad

a. Humedad

Para calcular el porcentaje de humedad, se tiene en cuenta el peso húmedo y peso seco de la briqueta, para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación.

$$\%H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} * 100$$

En las siguientes tablas se muestran los resultados de peso húmedo, peso seco y el porcentaje de humedad de cada briqueta, el promedio de porcentaje de humedad del tratamiento 1.

Tabla 14. Porcentaje de humedad T1

Porcentaje de humedad del tratamiento 1			
Ensayos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	165	143	13.33
2	160	137	14.38
3	153	130	15.03
4	135	119	11.85
5	138	123	10.87
6	136	121	11.03
Promedio			12.75

En la tabla 14, el **tratamiento 1** presentó un promedio de 12.75% de porcentaje de humedad, en este tratamiento se hizo el uso de aglutinante de almidón de maíz, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 15. Porcentaje de humedad T2

Porcentaje de humedad del tratamiento 2			
Ensayos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	284	256	9.86
2	254	233	8.27
3	248	225	9.27
4	295	266	9.83
5	301	266	11.63
6	292	261	10.62
Promedio			9.91

En la tabla 15, el **tratamiento 2** presenta un promedio de 9.91% de porcentaje de humedad, aquí se utilizó el aglutinante almidón de papa,

residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 16. Porcentaje de humedad T3

Porcentaje de humedad del tratamiento 3			
Ensayos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	118	101	14.41
2	125	109	12.80
3	120	101	15.83
4	250	217	13.20
5	235	208	11.49
6	231	202	12.55
Promedio			13.38

En la tabla 16, el **tratamiento 3** presenta un promedio de 13.38% de porcentaje de humedad, aquí se usó el gel de sábila, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 17. Porcentaje de humedad T4

Porcentaje de humedad del tratamiento 4			
Ensayos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	215	187	13.02
2	203	176	13.30
3	215	187	13.02
4	210	181	13.81
5	187	165	11.76
6	193	170	11.92
Promedio			12.81

En la tabla 17, el **tratamiento 4** presenta un promedio de 12.81% de porcentaje de humedad, aquí se utilizó la mezcla de todos los aglutinantes (almidón de papa, maíz y gel de sábila), residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 18. Porcentaje de humedad T5

Porcentaje de humedad del tratamiento 5			
Ensayos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	127	109	14.17
2	124	107	13.71
3	123	107	13.01
4	160	144	10.00
5	163	144	11.66
6	159	145	8.81
Promedio			11.89

En la tabla 18, el **tratamiento 5** presenta un promedio de 11.89% de porcentaje de humedad, aquí no se usó aglutinante, solo residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Se presentaron datos estadísticos con respecto a la humedad de acuerdo a los tratamientos.

Tabla 19. Cuadro de análisis de la varianza para el porcentaje de humedad

Cuadro de análisis de la varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	44.21	4	11.05	4.62	0.0063
Error	59.86	25	11.05		
Total	104.07	29	2.39		

En la tabla 19, el valor-P de la razón-F muestra que hay diferencia significativa entre el porcentaje de humedad, es decir, los distintos tratamientos presentan diferente porcentaje de humedad.

Tabla 20. Medias y grupo homogéneos

Prueba: Tukey			
Error: 2.39	Gl:25		
Tratamientos	Media		
2	9.91	A	
5	11.89	A	B
1	12.75		B
4	12.81		B
3	13.38		B

En la tabla 20 se mostraron las pruebas de Tukey y se identificaron dos grupos homogéneos; el primero es el tratamiento 2 y 5. El segundo grupo homogéneo es el tratamiento 5, 1, 4 y 3.

Se presenta la siguiente figura en barras para observar los tratamientos con su respectivo porcentaje de humedad.

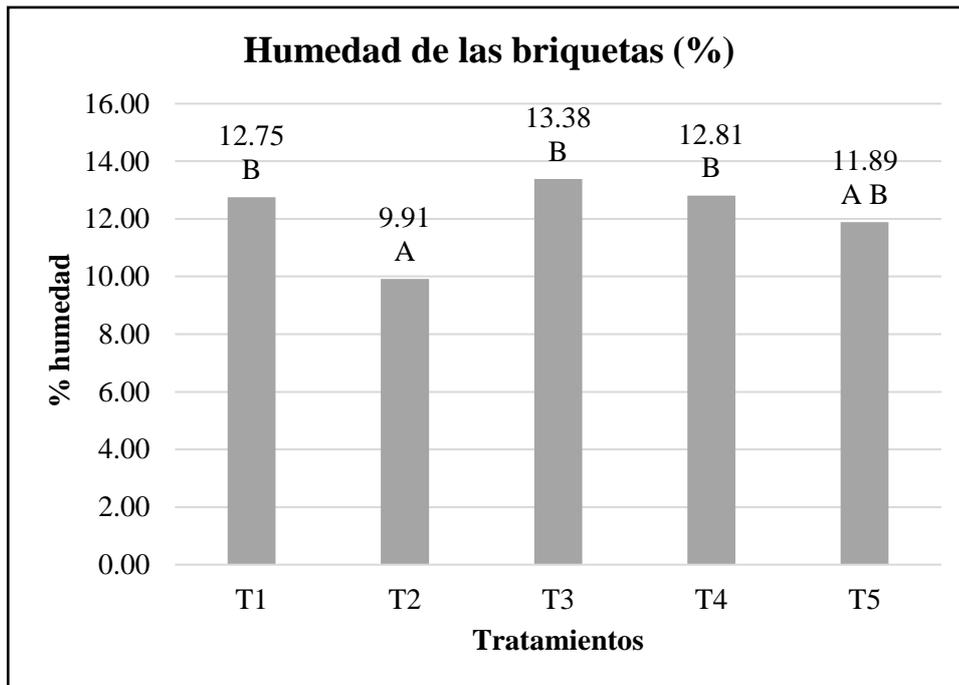


Figura 12. Porcentaje de humedad de las briquetas de los 5 tratamientos

En la figura 12, los tratamientos que presentan el menor porcentaje de humedad con 9.91% son del tratamiento 2 con aglutinante de almidón de papa y las briquetas que presentan mayor porcentaje de humedad son del tratamiento 3 de 13.38% con aglutinante de gel de sábila. El tratamiento 1 con aglutinante de almidón de maíz presenta el 12.75%, el tratamiento 4 hecha con las mezclas de aglutinantes (almidón de maíz, papa y gel de sábila) presenta el 12.81% y el tratamiento 5 hecha sin aglutinante presenta el 11.89% de porcentaje de humedad.

El porcentaje de humedad de los tratamientos con residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado, aserrín y aglutinante de almidón de maíz, almidón de papa y gel de sábila, se encuentra dentro de los rangos de porcentaje de humedad. La cantidad de humedad que contiene la biomasa debe ser inferior al 30% (13). Murcia y Gonzales (26) mencionan que la humedad es una de las propiedades más importantes que proporciona a la eficiencia de la briqueta, esto afecta al poder calorífico. Por ello, el rango adecuado debe ser entre 15%-20%. Se menciona que después del prensado, la humedad de la briqueta debe estar entre 8%-10%, estar dentro del rango de la normativa de briquetas

(27); una briqueta de buena calidad es aquella con el contenido de humedad por encima del 8% y no supere los 15%, si presenta un rango muy bajo no hay adecuada aglomeración y además la compactación es defectuosa (9).

Los resultados que presentan los distintos tratamientos están dentro del rango establecido, entonces se concluye que las briquetas son de buena calidad, además da a conocer el buen resultado del poder calorífico, porque una briqueta con alto porcentaje de humedad afecta significativamente en el poder calorífico.

b. Porcentaje de ceniza

Para determinar el contenido de cenizas, las briquetas deben pasar el proceso de combustión y el resultado fue la relación de peso de los residuos de la muestra y el peso de la briqueta.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W \text{ del residuo de muestra}}{W \text{ de la muestra}} * 100$$

En las tablas posteriores se presenta el peso seco, peso de ceniza y porcentaje de ceniza de cada briqueta. Y promedio de porcentaje de ceniza del tratamiento 1.

Tabla 21. Porcentaje de cenizas T1

Porcentaje de cenizas del tratamiento 1			
Ensayos	Peso seco (g)	Peso de ceniza (g)	% de ceniza
1	143	18	12.59
2	137	9	6.57
3	130	11	8.46
4	119	14	11.76
5	123	14	11.38
6	121	13	10.74
Promedio			10.25

En la tabla 21, el **tratamiento 1** presenta el promedio de 10.25% de ceniza. Las briquetas fueron elaboradas con aglutinante de almidón de

maíz, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 22. Porcentaje de cenizas T2

Porcentaje de cenizas del tratamiento 2			
Ensayos	Peso seco (g)	Peso de ceniza (g)	% de ceniza
1	256	37	14.45
2	233	30	12.88
3	225	36	16.00
4	266	21	7.89
5	266	22	8.27
6	261	20	7.66
Promedio			11.19

En la tabla 22, el **tratamiento 2** presenta un promedio de 11.19% de ceniza. Las briquetas fueron elaboradas con aglutinante de almidón de papa, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 23. Porcentaje de cenizas de T3

Porcentaje de cenizas del tratamiento 3			
Ensayos	Peso seco (g)	Peso de ceniza (g)	% de ceniza
1	101	14	13.86
2	109	13	11.93
3	101	12	11.88
4	217	12	5.53
5	208	14	6.73
6	202	11	5.45
Promedio			9.23

En la tabla 23, el **tratamiento 3** presenta el promedio de 9.23% de ceniza. Las briquetas fueron elaboradas con gel de sábila, residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 24. Porcentaje de cenizas T4

Porcentaje de cenizas del tratamiento 4			
Ensayos	Peso seco (g)	Peso de ceniza (g)	% de ceniza
1	187	27	14.44
2	176	18	10.23
3	187	21	11.23
4	181	19	10.50
5	165	18	10.91
6	170	20	11.76
Promedio			11.51

En la tabla 24, el **tratamiento 4** presenta el promedio de 11.51% de ceniza. Las briquetas fueron elaboradas con mezcla de aglutinantes (almidón de maíz, papa y gel de sábila), residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

Tabla 25. Porcentaje de cenizas T5

Porcentaje de cenizas del tratamiento 5			
Ensayos	Peso seco (g)	Peso de ceniza (g)	% de ceniza
1	109	15	13.76
2	107	14	13.08
3	107	13	12.15
4	144	14	9.72
5	144	12	8.33
6	145	11	7.59
Promedio			10.77

En la tabla 25, el **tratamiento 5** presenta el promedio de 10.77% de ceniza. Las briquetas fueron elaboradas sin aglutinantes, con residuos agrícolas de bagazo de maíz y paja de cebada, papel reciclado y aserrín.

A continuación, se presentan datos estadísticos del tiempo de combustión de acuerdo a los tratamientos.

Tabla 26. Cuadro de análisis de varianza para el porcentaje de ceniza

Cuadro de análisis de la varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	19.26	4	4.81	0.57	0.6838
Error	209.59	25	8.38		
Total	228.85	29			

En la tabla 26, en lo concerniente al porcentaje de ceniza, el valor-P de la prueba –F es mayor que 0.05, eso quiere decir que los distintos tratamientos asignados no difieren estadísticamente entre sí.

Tabla 27. Media y grupos homogéneos

Prueba: Tukey		
Error: 8.38	gl:25	
Tratamientos	Media	
3	9.23	A
1	10.25	A
5	10.77	A
2	11.19	A
4	11.51	A

En la tabla 27 se observan las diferencias estimadas de cada tratamiento, también se demostró por medio de la prueba de Tukey, identificando solo un grupo homogéneo.

Se presenta la siguiente figura en barras para mostrar el porcentaje de ceniza de cada tratamiento.

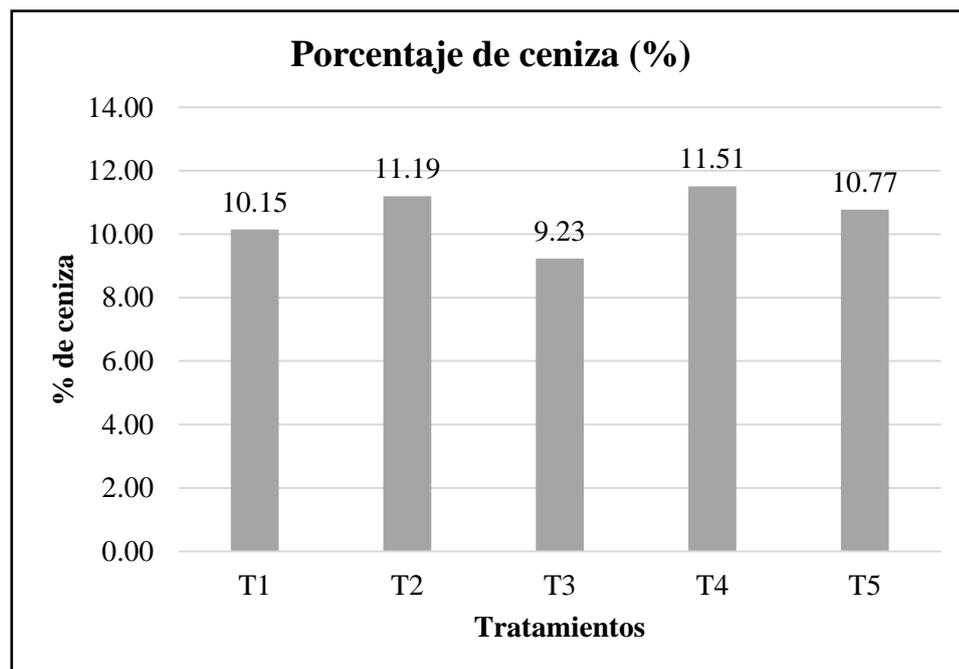


Figura 13. Porcentaje de cenizas de las briquetas de los 5 tratamientos

En esta figura 13, las briquetas que presentan menor porcentaje de cenizas son las del tratamiento 3 con 9.23% hecha con aglutinante de gel de sábila y las briquetas que presentan mayor cantidad de cenizas son del tratamiento 4 con aglutinante mixto con 11.51%. El tratamiento 1

presenta 10.25% de ceniza, el tratamiento 2 presenta 11.19% porcentaje de ceniza y el tratamiento 5 presenta 10.75% de porcentaje de ceniza.

El contenido de cenizas es la masa luego de la cocción completa de la briqueta (9). Resalta que el bajo contenido de cenizas es una característica ideal, para considerar las materias primas a la hora de elaborar las briquetas. Cuando es superior al 15% afecta negativamente al rendimiento energético, porque no hay aprovechamiento de la energía útil.

A partir de la conclusión de Vera (9), el porcentaje de ceniza de cada tratamiento está debajo de 15%, y se concluye que las briquetas presentan buen rendimiento energético.

c. Densidad

Se calculó después del secado de las briquetas, cuando alcanzan aproximadamente el 12% de humedad.

La forma de determinar la densidad es la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\text{Masa de materia}}{\text{Volumen de materia}}$$

Calcular la densidad es importante para saber la compactación, además, da la información de la cantidad de mezcla que ha sido comprimida, porcentaje de humedad y oxígeno que contiene la briqueta (27).

Para hallar el volumen de la briqueta ecológica, se basó en la fórmula del volumen prisma trapezoidal y fórmula del volumen de cilindro.

Volumen de prisma trapezoidal:

$$V = \left(\frac{1}{2} * (A + a) * h\right) * L$$

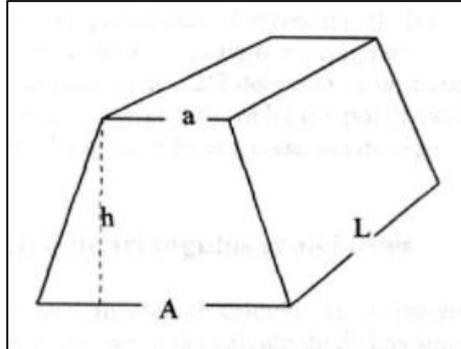


Figura 14. Volumen de prisma trapezoidal (36)

$$V = \left(\frac{1}{2} * (7.3cm + 8.0cm) * 8.0cm\right) * 10.0cm$$

$$V = 612cm^3$$

Volumen del cilindro:

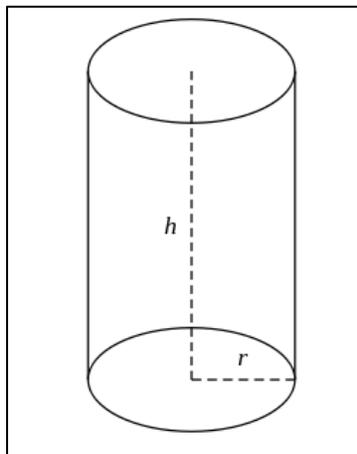


Figura 15. Volumen del cilindro (37)

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (1.27cm)^2 * 8.0cm$$

$$V = 40.54 cm^3$$

El volumen de la briqueta es la resta de volumen del prisma trapezoidal menos el volumen del cilindro.

$$= 612\text{cm}^3 - 40.54\text{cm}^3 = 571.46\text{cm}^3$$

En las siguientes tablas se muestra el peso seco, volumen y densidad de cada briqueta, finalmente, el promedio de los tratamientos.

Tabla 28. Densidad de tratamiento 1

Densidad del tratamiento 1			
Ensayos	Peso seco (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/cm³)
1	0.143	0.00057146	250.24
2	0.137	0.00057146	239.74
3	0.13	0.00057146	227.49
4	0.119	0.00057146	208.24
5	0.123	0.00057146	215.24
6	0.121	0.00057146	211.74
Promedio			225.45

En la tabla 28, **el tratamiento 1** presentó un promedio de 225.45 kg/m³. Briquetas que fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, papel reciclado, aserrín y aglutinante de almidón de maíz.

Tabla 29. Densidad de tratamiento 2

Densidad del tratamiento 2			
Ensayos	Peso seco (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/cm³)
1	0.256	0.00057146	447.98
2	0.233	0.00057146	407.73
3	0.225	0.00057146	393.73
4	0.266	0.00057146	465.47
5	0.266	0.00057146	465.47
6	0.261	0.00057146	456.72
Promedio			439.52

En la tabla 29, **el tratamiento 2** presentó un promedio de 439.52 kg/m³. Briquetas que fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, papel reciclado, aserrín y aglutinante de almidón de papa.

Tabla 30. Densidad de tratamiento 3

Densidad del tratamiento 3			
Ensayos	Peso seco (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/m³)
1	0.101	0.00057146	176.74
2	0.109	0.00057146	190.74
3	0.101	0.00057146	176.74
4	0.217	0.00057146	379.73
5	0.208	0.00057146	363.98
6	0.202	0.00057146	353.48
Promedio			273.57

En la tabla 30, **el tratamiento 3** presentó un promedio de 273.57 kg/m³. Briquetas que fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, papel reciclado, aserrín y gel de sábila.

Tabla 31. Densidad de tratamiento 4

Densidad del tratamiento 4			
Ensayos	Peso seco (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/cm³)
1	0.187	0.00057146	327.23
2	0.176	0.00057146	307.98
3	0.187	0.00057146	327.23
4	0.181	0.00057146	316.73
5	0.165	0.00057146	288.73
6	0.17	0.00057146	297.48
Promedio			310.90

En la tabla 31, **el tratamiento 4** presentó un promedio de 310.90 kg/m³. Briquetas que fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, papel reciclado, aserrín y mezcla de aglutinantes (almidón de papa, maíz y gel de sábila).

Tabla 32. Densidad de tratamiento 5

Densidad del tratamiento 5			
Ensayos	Peso seco (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/m³)
1	0.109	0.00057146	190.74
2	0.107	0.00057146	187.24
3	0.107	0.00057146	187.24
4	0.144	0.00057146	251.99
5	0.144	0.00057146	251.99
6	0.145	0.00057146	253.74
Promedio			220.49

En la tabla 32, **el tratamiento 5** presentó un promedio de 220.49 kg/m³. Briquetas que fueron elaboradas con residuos de bagazo de maíz, paja de cebada, papel reciclado, aserrín y sin aglutinante.

Se presentaron datos estadísticos del tiempo de combustión de acuerdo a los tratamientos.

Tabla 33. Cuadro de análisis de la varianza

Cuadro de análisis de la varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	191886.6	4	47971.65	18.42	<0.0001
Error	65108.98	25	2604.36		
Total	256995.59	29			

La tabla 33 descompone la varianza de densidad en dos componentes, dado que el valor –P de la prueba-F es menor que 0.05, mencionando que hay diferencias significativas en las medidas de la densidad.

Tabla 34. Medias y grupo homogéneo

Prueba: Tukey			
Error: 2.39	Gl:25		
Tratamientos	Media		
2	439.52	A	
4	310.9		B
3	273.57		B C
1	225.45		B C
5	220.49		C

En la tabla 34 se observó que hay diferencias entre los tratamientos, con nivel de confianza de 95%. Se realizó la prueba de Tukey, que mostró tres grupos homogéneos; grupo uno es el tratamiento 1, grupo dos son los tratamientos 4, 3 y 1, y el último grupo es el tratamiento 3, 1 y 5.

La siguiente ilustración muestra la densidad de cada tratamiento.

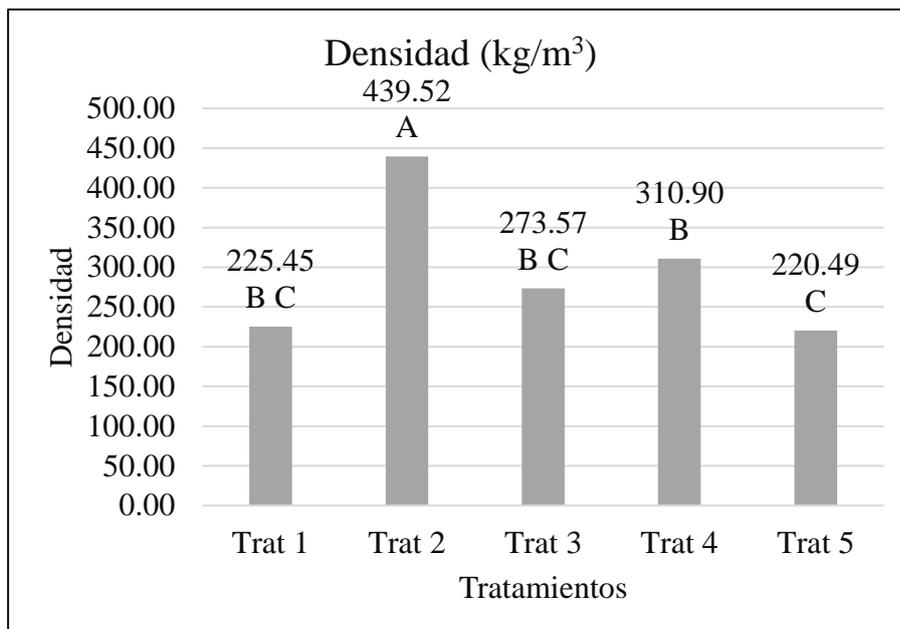


Figura 16. Densidad de briquetas de los 5 tratamientos

En la figura 16, las briquetas que presentaron mayor densidad son las del tratamiento 2 con una densidad de 439.52 kg/m³, tratamiento que usó aglutinante de almidón de papa, seguidamente es el tratamiento 4 con 310.90 kg/m³. El tratamiento 3 con 273.57 kg/m³. Luego el tratamiento 1 con 225.45 kg/m³ y finalmente el tratamiento 5 con 220.49 kg/m³.

La densidad es una propiedad importante, para fines de almacenamiento, transporte y manipulación del producto. Una alta densidad tiene como objetivo que al transportar el producto ocupe menor volumen e igual peso. El tratamiento 2 es el que presenta alta densidad y se concluye que estas briquetas elaboradas con el aglutinante almidón de papa son fáciles de almacenar, transportar y manejar el producto (7).

En la experimentación se prueban distintas combinaciones para obtener mezcla adecuada, mostrando las mejores características energéticas y eficiencia en su combustión, que pueden dar validación de una briqueta óptima. Al analizar los parámetros como densidad, humedad, ceniza, tiempo de combustión dará la información si es una briqueta de buena calidad.

- ✓ Comparación de las briquetas de residuos agrícolas (bagazo de maíz y paja de cebada) con la Norma colombiana NTC 2060.

Tabla 35. Comparación de briquetas

Variables	Unidad	Tratamientos					Norma colombiana NTC 2060	Cumplimiento
		T1	T2	T3	T4	T5		
Tiempo	min	35	56.16	21.11	42.13	29.44	-	
Humedad	%	12.75	9.91	13.38	12.81	11.89	2.5	No cumple
Ceniza	%	10.15	11.19	9.23	11.51	10.77	30	Cumple
Densidad	kg/m ³	225.45	439.52	273.57	310.9	220.49	-	

Nota: tomada de Norma de briquetas (38)

CONCLUSIONES

- Las briquetas ecológicas elaboradas a base de los residuos agrícolas generados en el distrito de Masma Chicche resultaron ser una tecnología nueva y eco amigable con el ambiente, ya que es un biocombustible ecológico, disminuye gran parte la generación de restos agrícolas y su combustión oscila en promedio a 60 minutos, dependiendo del tipo de aglutinante usado.
- Se logró identificar el tipo de residuos agrícolas para la elaboración de briquetas, entre ellos se encuentran al bagazo de maíz y paja de cebada, por ser residuos que abundan y se desperdician en la zona. Debido a que una de las características de ambos residuos es su alto poder calorífico superior e inferior, teniendo así al bagazo de maíz con un PCS de 18.4 MJ/kg y PCI de 17.1 MJ/kg (24). Asimismo, la paja de cebada con un PCI de 16.2 MJ/kg (35).
- Se diseñó un prototipo de briqueta ecológica en forma trapezoidal, con medida superior de 8 cm de altura, 8 cm de ancho y 10 cm de largo, asimismo, la medida inferior de 9.33 cm de largo, 7.3 cm de ancho y de radio 1.27 cm. Se consideró un orificio en el centro que facilitará su secado ingresando aireación, esta forma de briqueta ayuda al proceso de prensado, compactación y su facilidad de transporte, almacenamiento y manipulación, además se tuvo en cuenta las dimensiones apropiadas para ser colocadas en estufas ecológicas.
- Se determinó que las briquetas con mayor tiempo de combustión fue con el tratamiento 2 con el aglutinante de almidón de papa, el promedio de combustión de los 6 ensayos fue 56.16 minutos, además, presentó porcentaje de humedad con valor de 9.91%.

RECOMENDACIONES

- Utilizar tecnologías modernas para el prensado de las briquetas ecológicas, para que queden más compactas las materias primas y tengan más consistencia.
- El uso de la sábila no es apropiado como aglutinante en la elaboración de las briquetas, debido a que retiene agua y su porcentaje de humedad es mayor al de los otros aglutinantes usados en la experimentación, aparte de ello al momento de combustión se incineran muy rápido en un corto tiempo.
- Realizar un estudio de mercado con el fin de proporcionar un costo sugerido a las briquetas para uso comercial.
- Realizar un estudio sobre otros tipos de aglutinantes que se puedan emplear en la elaboración de briquetas.
- Utilizar guantes para realizar la mezcla de forma manual, ya que al mezclar con los diferentes aglutinantes estos pueden dañar la piel y desgastarla.
- Es indispensable el uso de un aglutinante para que la muestra tenga una mejor adhesión de materias primas y esta no tienda a desintegrarse.

TRABAJOS FUTUROS

Realizar una investigación sobre la cantidad de árboles talados anualmente, para realizar un cambio de combustible, el tradicional que es el leño obtenido de los árboles, por el actual que es la briqueta ecológica, ya que el actual aprovecha residuos agrícolas y forestales, mas no genera efectos negativos al ambiente, aparte de ello, ayudarán a disminuir la tala en el distrito de Masma Chicche.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **BARS, M., DELIVAND, M. and DINKLER, K.** Residuos agrícolas - una fuente prometedora para la producción de biogas en los países en desarrollo de las regiones tropicales y subtropicales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. June 2019. Vol. 16, no. 38, p. 2–12. DOI 10.18845/rfmk.v16i38.3991.
2. **BRIONES, D. and CHILAN, M.** *Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de residuos de maíz en la Comunidad San Miguel de Tres Charcos* [online]. Calceta : Escuela Superior Politecnica Agropecuaria de Manabi Manuel Felix, 2019. Available from:
<http://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/1216>
3. **GUZMÁN, Samamé and ENRIQUE, Walter.** Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de Biomasa. *Universidad César Vallejo* [online]. 2017. [Accessed 1 March 2021]. Available from:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10893>Accepted: 2018-03-06T00:45:50Z
4. **GARCIA, D.** *Utilización y valoración del residuo agrícola de maiz amiláceo en la alimentación del ganado lechero en el valle del Mantaro* [online]. Grado. Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. Available from:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3890>
5. **AGRORURAL.** Junín: construcción de cobertizos impulsará manejo ganadero local de más de 19 000 cabezas de ganado en la región – AGRO RURAL. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego* [online]. 2020. [Accessed 15 February 2021]. Available from:
<https://www.agrorural.gob.pe/junin-construccion-de-cobertizos-impulsara-manejo-ganadero-local-de-mas-de-19-000-cabezas-de-ganado-en-la-region/>
6. *Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf* [online]. [Accessed 27 February 2021]. Available from: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
7. **VALIENTE, A.** *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de el progreso, Jutiapa* [online]. Grado.

- Guatemala de la Asuncion : Universidad Rafael Landibar, 2017. Available from:
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjr/2017/02/02/Valiente-Astrid.pdf>
8. **DIAZ, I., DIAZ, A., RODRIGUEZ, A., ALFONSO, A. and MIGUEL, J.** Briquetas energeticas con aserrín y corteza de pino. *Ingeniería Energética*. 2020. Vol. 41, no. 1, p. 6.
 9. **VERA, M. and MERCEDES, J.** *Evaluación de briquetas como biocombustible solido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector El Empalme* [online]. Grado. Quevedo : Universidad Tecnico Estatal de Quevedo, 2017. [Accessed 11 February 2021]. Available from:
<http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4105>Accepted: 2020-09-10T14:24:38Zpublisher: Quevedo: UTEQ
 10. **BENAL, M. and FALLA DEL CASTILLO, L.** *Elaboración de briquetas de bagazo de Saccharum officinarum para mitigar las emisiones en el Centro Poblado El Invernillo, Pomalca* [online]. Grado. Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2020. [Accessed 11 February 2021]. Available from:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50269>Accepted: 2020-12-15T21:18:45Zpublisher: Universidad César Vallejo
 11. **GARCIA, L., BENITEZ, P., VALERO, S. and GUTIERREZ, I.** Elaboración de Briquetas a Partir de Residuos de Aserrín Aglutinados con Almidón de Maíz y su Posible Aplicación como Aislante Térmico. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*. 2019. Vol. 29, no. 1, p. 39. DOI 10.15517/ri.v29i1.33090.
 12. **HUANCA, R.** Evaluación del proceso de producción de briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto. [online]. 2017. Available from:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3459/K50-H8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 13. **ALVAREZ, E.** *Análisis técnico financiero en la implementación de briquetas de aserrín, cáscara de café y olote, para disminuir el consumo de leña en San Juan Sacatepéquez* [online]. Grado. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. [Accessed 24 February 2021]. Available from:
<http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

14. **FELIX, E. and ROSELL, C.** *Bioenergía y seguridad alimentaria “BEFS”* [online]. Roma, 2010. ISBN 978-92-5-306628-5. Available from: <https://www.fao.org/3/i1712s/i1712s00.htm>
15. **JOS, Jav.** Innovación sistemática mediante triz. [online]. [Accessed 16 November 2021]. Available from: https://www.academia.edu/7046975/Innovacion_sistemica_mediante_triz
16. Viruta o aserrín. *Reciclario* [online]. 2012. [Accessed 2 March 2021]. Available from: <http://reciclario.com.ar/compostable/viruta-o-aserrin/>
17. **PRADA, R.** Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Bogotá*. January 2012. No. 72, p. 180–192.
18. **GARCIA, A. and MARCOS, E.** *Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín* [online]. Grado. Piura : Universidad de Piura, 2014. Available from: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1829>
19. **EcuRed.** Residuo agrícola - [online]. [Accessed 2 March 2021]. Available from: https://www.ecured.cu/Residuo_agr%C3%ADcola
20. Residuos del cultivo de maíz. *Pasturas de América* [online]. 2016. [Accessed 2 March 2021]. Available from: <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>
21. Residuos secos de los cultivos. [online]. [Accessed 2 March 2021]. Available from: <http://www.fao.org/3/x7660s/x7660s0d.htm>
22. Envenenamiento con monóxido de carbono. *Medline Plus Información de Salud para usted* [online]. 2021. [Accessed 16 November 2021]. Available from: <https://medlineplus.gov/spanish/carbonmonoxidepoisoning.html>
23. **ALARCON, S.** *Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado*. [online]. Grado. Quito : Universidad Central del Ecuador, 2017. [Accessed 7 April 2021]. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13003> Accepted: 2017-10-28T21:12:02Zpublisher: Quito: UCE

24. **GUILLEN, R. and DÁVILA, J.** Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. *Saber Hacer, Universidad San Ignacio de Loyola*. 2014. Vol. 1, no. 2, p. 88–123.
25. **GUTIERREZ, Y. and CARCACHE, E.** *Elaboración de combustible ecológico, eficiente y amigable con el medio ambiente a partir de residuos de la madera y pulpa de papel reciclado, provenientes del Programa Institucional de la Madera (PIMA)*. [online]. Grado. Managua : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. [Accessed 7 April 2021]. Available from: <https://ribuni.uni.edu.ni/1565/>
26. **MURCIA, D. and GONZALES, A.** *Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo* [online]. Grado. Bogota : Universidad de America, 2020. [Accessed 24 February 2021]. Available from: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7783>Accepted: 2020-03-12T21:20:57Zpublisher: Fundación Universidad de América
27. **HIJAR, A. and MIGUEL, J.** *Diseño de un sistema integrado para la producción de briquetas de biomasa a partir del aprovechamiento de la cascarilla de arroz en el distrito de San Hilarión, San Martín* [online]. Grado. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018. [Accessed 11 February 2021]. Available from: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623483>Accepted: 2018-05-04T21:24:48Zpublisher: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
28. Significado de Temperatura. *Significados* [online]. [Accessed 24 April 2021]. Available from: <https://www.significados.com/temperatura/>
29. **HERNÁNDEZ, R.** *Metodología De La Investigacion* [online]. 6. 2014. [Accessed 27 February 2021]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Available from: <https://www.amazon.com/-/es/ROBERTO-HERNANDEZ-SAMPIERI/dp/1456223968>
30. **BUNGE, M.** *Seudociencia el deologia* [online]. Madrid : Alianza Editorial, 1985. [Accessed 16 November 2021]. ISBN 84-206-2440-3. Available from:

- https://kupdf.net/download/238710734-bunge-m-seudociencia-e-ideologia-ed-alianza-1985pdf_5a1d7672e2b6f5ca6b89cd8b_pdf
31. Hobby Carpintería: Tema: Tipos de Prensas o Sargentos. *Hobby Carpintería* [online]. 13 December 2015. [Accessed 4 November 2021]. Available from: <https://hobbycarpinteria.blogspot.com/2015/12/tema-tipos-de-prensas-o-sargentos.html>
 32. *17_1143.pdf* [online]. [Accessed 12 April 2021]. Available from: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/17/17_1143.pdf
 33. **DE LUCAS, A., DEL PESO, C., RODRIGUEZ, E. and PRIETO, P.** *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad | Gestión Forestal Sostenible* [online]. Palencia, 2012. [Accessed 12 April 2021]. ISBN 978-84-931891-5-0. Available from: </content/biomasa-biocombustibles-y-sostenibilidad>
 34. **CABRERA, A., SANTELICES, R., ESPINOZA, S. and MAGNI, C.** Balance energético en el primer ciclo de corta de tres especies de eucalipto con diferentes niveles de manejo en el secano Mediterráneo de Chile central. *Bosque*. 2019. Vol. 40, no. 1, p. 49–56. DOI 10.4067/S0717-92002019000100049.
 35. La Paja de cereal. *ACR Ecocalderas SL* [online]. [Accessed 21 November 2021]. Available from: <https://www.acr-ecocalderas.com/presupuestos-y-ofertas/la-paja-de-cereal/>
 36. Volúmenes. *Menu China* [online]. 2021. [Accessed 1 October 2021]. Available from: <https://personal.us.es/cmaza/china/volumenes.htm>
 37. **CUESTA, I.** Calcular volumen de un cilindro online: calculadora, fórmula y más. *Calculadora conversor* [online]. 2014. [Accessed 1 October 2021]. Available from: <https://www.calculadoraconversor.com/calcular-volumen-de-un-cilindro/>
 38. Norma Briquetas. *pdfcoffee.com* [online]. [Accessed 16 November 2021]. Available from: <https://pdfcoffee.com/norma-briquetas-5-pdf-free.html> NORMA TÉCNICA COLOMBIANANTC 2060 1987-11-04BRIQUETAS COMBUSTIBLES PARA USO DOMÉSTICOE:FUEL BRIQUETES FOR HOUSEHO.

ANEXOS

Anexo 1

Proceso de elaboración de briquetas



Figura 17. Recolección de materia prima



Figura 18. Limpieza de los residuos



Figura 19. Triturado de materias primas



Figura 20. Machete de tipo curvo usado para el triturado de materias primas



Figura 21. Pesado del total de paja de cebada para los 5 tratamientos



Figura 22. Pesado del total de bagazo de maíz para los 5 tratamientos



Figura 23. Pesado del total de aserrín para los 5 tratamientos

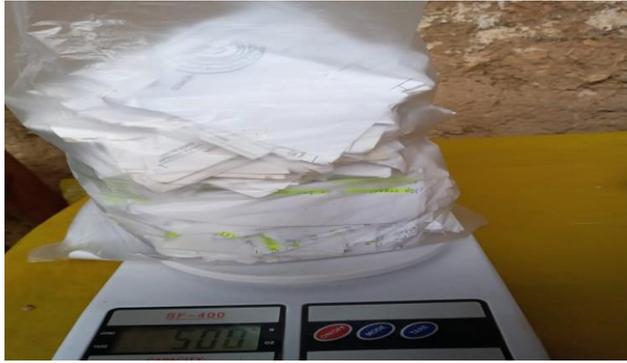


Figura 24. Pesado del total de papel para los 5 tratamientos



Figura 25. Pesado del total de gel de sábila para los 5 tratamientos



Figura 26. Pesado del total de almidón de papa para los 5 tratamientos



Figura 27. Pesado del total de almidón de maíz para los 5 tratamientos



Figura 28. Pesado de la paja de cebada para los 6 ensayos de briqueta



Figura 29. Pesado del bagazo de maíz para los 6 ensayos de briqueta



Figura 30. Pesado del aserrín para los 6 ensayos de briqueta



Figura 31. Pesado del papel para los 6 ensayos de briqueta



Figura 32. Pesado del almidón de papa para el tratamiento 4



Figura 33. Pesado del almidón de maíz para el tratamiento 4



Figura 34. Pesado del gel de sábila para el tratamiento 4



Figura 35. Mezclado de los 3 aglutinantes para el tratamiento 4



Figura 36. Peso del bagazo de maíz para los ensayos



Figura 37. Peso de la paja de cebada para los ensayos



Figura 38. Peso del aserrín para los ensayos



Figura 39. Mezclado de materias



Figura 40. Molde para el prensado de materias primas



Figura 41. Prensado de materias primas



Figura 42. Prensa de tipo tornillo para la compactación



Figura 43. Peso de briqueta húmeda



Figura 44. Secado de briquetas

Anexo 2

Proceso de experimentación de briquetas



Figura 45. Pesado de briquetas



Figura 46. Encendido de briquetas y medición de temperatura



Figura 47. Medición de la temperatura a los 30 minutos de combustión



Figura 48. Combustión de la briqueta al minuto 35



Figura 49. Medición de la temperatura al final de la combustión



Figura 50. Pesado de la cantidad de cenizas



Figura 51. Aplicación de encuestas a los pobladores sobre la cantidad de desechos agrícolas generados y desechados



Figura 52. Recolección, verificación y validación de la cantidad de residuos agrícolas desechados

Anexo 3

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Variable	Dimensión	Indicador
<p>Problema general ¿Cómo se podrán aprovechar los residuos agrícolas para la obtención de energía calorífica en Masma Chicche Jauja?</p> <p>Problema específico ¿Qué tipo de residuos agrícolas se usarán para la elaboración de briquetas ecológicas?</p> <p>¿Cómo será el prototipo de la briqueta ecológica que se usará para su elaboración?</p> <p>¿Qué variables serán evaluadas en las briquetas ecológicas elaboradas?</p>	<p>Objetivo general Elaborar y analizar briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja -2021.</p> <p>Objetivos específicos Determinar el tipo de residuos agrícolas que serán empleados en la elaboración de briquetas ecológicas</p> <p>Diseñar un prototipo de briqueta ecológica a partir de los residuos agrícolas desechados.</p> <p>Determinar el tiempo de combustión, porcentaje de ceniza y densidad de las briquetas elaboradas.</p>	<p>Independiente: X = Residuos agrícolas: son aquellos residuos que son generados de los restos de cultivo y de las limpiezas que hacen los agricultores en el campo.</p> <p>Dependiente: Y = Briquetas: una briqueta es una forma de biocombustible sólido densificado, el proceso de su fabricación consiste en aplicar altas presiones en la densificación de la materia prima, elevadas temperaturas en el periodo del secado y mezclar con un aglutinante natural.</p>	<p>Disponibilidad de residuos agrícolas, papel reciclado, aserrín y almidón de papa.</p> <p>Disponibilidad de materia prima.</p> <p>Adquisición</p>	<p>Cantidad de residuos agrícolas, papel reciclado, aserrín y almidón de papa.</p> <p>Cantidad de materia prima.</p> <p>Conciencia ambiental</p>

Anexo 4

Operacionalización de variables

Variable	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
X=Residuos agrícolas	Independiente	Son aquellos residuos que se generan durante la época de cultivo o cosecha de productos, estos son dejados en el campo o área de cosecha.	Disponibilidad de residuos agrícolas y forestales, paja de cebada, bagazo de maíz, papel reciclado, aserrín y almidón de papa.	Cantidad de residuos agrícolas, papel reciclado, aserrín y almidón de papa.
Y=Briquetas	Dependiente	Es considerado como un biocombustible sólido compacto, para el proceso de elaboración se debe aplicar presión al momento de prensar, su secado es al aire libre y altas temperaturas, también requiere de un aglutinante natural.	Disponibilidad de materia prima. Adquisición	Cantidad de materia prima. Conciencia ambiental

Anexo 5

Factor en estudio

Tratamientos	Bagazo de maíz (g)	Paja de cebada (g)	Papel reciclado (g)	Aserrín (g)	Aglutinante				
					Almidón de papa (g)	Almidón de maíz (g)	Aloe Vera (g)	Mixto (g)	Agua (ml)
T1	13	7	172	27		29			500
	11	6	170	26		27			500
	9.5	5.5	168	25.5		25.5			500
	4	3	160	23		21			500
	7.5	5	169	25		24			500
	5	3.5	161	23.5		23.5			500
Total	50	30	1000	150		150			3000
T2	8	5	167	25	25				500
	5	3	163	23	22				500
	4	2	160	22	18				500
	11	7	171	27	29				500
	12	7	171	27	29				500
	10	6	168	26	27				500
Total	50	30	1000	150	150				3000
T3	4.5	3.5	161	20			19.5		5000
	7	4.5	163	22			22		5000
	5	2	160	20.5			21		5000
	13	8	173	30			30.5		5000
	11.5	6.5	172	29.5			29		5000
	9.5	5.5	171	28			28		5000
Total	50	30	1000	150			150		3000
T4	10	6.5	169	28	10.5	8.5	9.5	28.5	500
	8	5	167	25	8	7.5	8.5	24	500
	11	7	168.5	27.5	7	8.5	10.5	29	500
	9	5.5	167.5	25.5	9.5	8	8	26.5	500
	5	2	163	21	7	10	7	20	500
	7	4	165	23	8	7.5	6.5	22	500
Total	50	30	1000	150	50	50	50	150	3000
T5	5.5	3	163	22					500
	4.5	2.5	162	21					500
	5.5	2	163.5	21.5					500
	11.5	7	170.5	28.5					500
	11	7.5	170	28					500
	12	8	171	29					500
Total	50	30	1000	150					3000
Total de bagazo de maíz: 250.00 g Total de paja de cebada: 150.00 g Total de aserrín: 750.00 g Total de papel reciclado húmedo: 5000.00 g									

Anexo 6
Trabajo de investigación

La presente encuesta se aplica con la finalidad de recopilar información sobre la cantidad de residuos agrícolas generados y desechados en el distrito de Masma Chicche-Jauja-2021.

1.- ¿Cuál es la principal actividad que usted realiza?

- a) Agricultura y ganadería b) Comercio c) Otros _____

2.- ¿Qué extensión de terreno siembra?

- a) Más de una ha b) Menos de una ha c) Otros _____

3.- ¿Qué cantidad de residuos agrícolas obtiene por cosecha?

Especifique _____

4.- ¿Qué hace con sus residuos agrícolas obtenidos de su cosecha?

- a) Quema b) Vende c) Alimento del ganado d) Otros

5.- ¿Qué tipo y cantidad de ganado tiene? Marque varias

- a) Vacuno _____ b) Ovino _____ c) Porcino _____ d) otros _____

6.- ¿En qué cantidad desperdicia su ganado los residuos agrícolas a diario?

- a) Mas de 1 kg b) Menos de 1 kg c) Otros

7.- ¿Le interesaría conocer una propuesta para aprovechar su desecho agrícola?

- a) Sí b) No