



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial –PUIDI-

nombre del programa universitario de investigación de la Digi

Evaluación de la calidad de briquetas elaboradas a partir de residuos agroindustriales para ser utilizadas en cocinas de hogares rurales.

Nombre del proyecto de investigación

4.8.25.6.60

número de partida presupuestaria

Centro Universitario de Nor-Occidente –CUNOROC-

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica que avaló el proyecto

Walfer Wilfredo Martínez Xutuc, Willmar Valentín Tobar Tomás, Yeni Florentina García Camposeco.

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por la Digi

Guatemala 28-02-2025

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

MARN Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas.

Ing. Liuba María Cabrera Ovalle

Coordinadora del Programa Universitario de Investigación

Autores

Walfer Wilfredo Martínez Xutuc, No Registro de personal. 20040015

Willmar Valentín Tobar Tomás, No. Registro de Personal. 20110144

Yeni Florentina García (a) estudiante de pregrado, No. Registro de Personal 20241209

Colaboradores

Licda. Mariela del Rosario Tello Hernández

T.P.F. Mynor Eduardo Tello Hernández

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.25.6.60 en el Programa Universitario de Investigación Programa universitario de investigación en desarrollo industrial -PUIDI-.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Tabla de contenido

1.	Resumen	1
	Palabras clave	1
2.	Abstract.....	1
3.	Keywords.....	2
4.	Introducción	2
5.	Contexto de la investigación.....	3
5.1.	Delimitación en tiempo	3
5.2.	Delimitación espacial.....	4
6.	Revisión de literatura.....	4
6.1.	Marco teórico	4
6.1.1.	Biocombustibles	4
6.1.2.	Fabricación de briquetas	4
7.	Planteamiento del problema.....	6
8.	Objetivos.....	8
8.1.	Objetivo general.....	8
8.2.	Objetivos específicos.....	8
9.	Hipótesis	8
10.	Método.....	8
10.1.	Tipo de investigación.....	8
10.2.	Enfoque y alcance de la investigación.....	8
10.3.	Diseño de la investigación.	9
10.4.	Población, muestra y muestreo.	9
1.1.	Técnicas	10
1.2.	Resumen de las variables o unidades de análisis.....	12
2.	Procesamiento y análisis de la información.	15
3.	Resultados y discusión.....	15
3.1.	Caracterización de briquetas	15
3.2.	Caída libre	16
3.3.	Contenido de humedad.....	17
3.4.	Densidad	22

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3.5.	Porcentaje de cenizas.....	27
3.6.	Tiempo de combustión.....	32
3.7.	Poder Calorífico de los tratamientos.....	43
12.8	. Emisión de CO	46
1.1.	Validación social de las briquetas.	47
1.2.	Análisis económico.....	49
12.10.	Análisis y discusión	51
2.	Protección intelectual	52
3.	Beneficiarios directos e indirectos	53
4.	Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.	53
5.	Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)	54
6.	Contribución al desarrollo de iniciativas de ley	54
7.	Vinculación.....	55
8.	Conclusiones.....	56
9.	Recomendaciones.....	57
10.	Referencias.....	58
11.	Apéndice.....	62



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Resumen

La pulpa de café como los rastrojos del maíz posee poder calorífico altos para ser utilizados en la combustión. Esta investigación propuso aumentar la vida útil de estos residuos agroindustriales, mediante la fabricación de briquetas, el estudio estuvo a cargo del Instituto de Investigaciones de Noroccidente IIDENOC-CUNOROC en Huehuetenango, mediante un enfoque experimental tipo cuantitativo, para determinar la composición y los agregados ideales de una briqueta con alto poder calorífico para ser utilizado en cocinas. El mejor tratamiento se validó con grupos de mujeres de la etnia Poptí en Jacaltenango y Mam en Santa Bárbara Huehuetenango. Se caracterizó las propiedades físicas y químicas de las briquetas, como lo son: resistencia, densidad, humedad, contenido de ceniza, poder calorífico, tiempo a combustión y emisión de CO, para lo cual se utilizó una picadora de material orgánica y una prensa semi industrial. Los resultados cuantitativos se analizaron en Infostat, a un 95% de confiabilidad. El mejor tratamiento para cocción fue el compuesto por 75% pulpa de café + 25% rastrojo de maíz + 5% almidón de yuca + 10% colofonia, con un poder calorífico de 20.38 MJ/Kg, un tiempo de 52.33 minutos en combustión, una densidad de 238.1 Kg/cm³ y un contenido de cenizas del 27.48%. Este tratamiento no solo presenta las mejores características físico-químicas, sino presenta potencial para ser utilizado en un emprendimiento. Los resultados han sido divulgados mediante eventos presenciales y virtuales, por poseer una alternativa de uso en cocinas de hogares peri urbano y urbano en Huehuetenango.

Palabras clave

Economía circular	Briqueta	caracterización químico-física de briquetas	residuos agroindustriales	Biocombustible
-------------------	----------	---------------------------------------------	---------------------------	----------------

Abstract

Coffee pulp, like corn cobs, has high calorific power for use in combustion. This research proposed to increase the shelf life of these agro-industrial waste materials by manufacturing briquettes. The study was conducted by the Instituto de Investigaciones de Noroccidente (IIDENOC-CUNOROC) in Huehuetenango, using an experimental quantitative approach to determine the composition and ideal aggregates of a briquette with high calorific power for use in cooking stoves. The best treatment was validated with groups of women from the Poptí ethnic group in Jacaltenango and Mam in Santa Bárbara Huehuetenango. This research characterized the physical and chemical properties of the briquettes, such as resistance, density, moisture, ash content, calorific power, combustion time, and CO emissions.

A chopper for organic material and a semi-industrial press were used for this purpose. The quantitative results were analyzed using Infostat, with a 95% confidence level. The best



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

treatment consisted of 75% coffee pulp + 25% corn cob + 5% cassava starch + 10% colophony, with a calorific power of 20.38 MJ/kg, a combustion time of 52.33 minutes, a density of 238.1 kg/cm³, and an ash content of 27.48%. This treatment not only presents the best physical-chemical characteristics but also has potential for use in entrepreneurship. The results have been disseminated through in-person and virtual events, as they offer an alternative for use in cooking stoves in peri-urban and urban households in Huehuetenango.

Keywords

Circular economy, Briquettes, chemical-physical characterization of briquettes, agricultural waste, biofuel

1. Introducción

Para el año 2020 Guatemala poseía 3 millones 601 mil 567 hectáreas de cobertura forestal, siendo equivalente a un 33.3% del territorio nacional (INAB, 2023), la presencia de los bosques es significativa para la población guatemalteca, ya que proveen leña, broza, madera y otros productos no maderables; además, contribuye a la regulación hidrológica, disminuye el impacto ambiental, reduce la erosión, aumenta la biodiversidad y controla el riesgo de desastres naturales (IARNA URL, 2012).

Actualmente la cobertura forestal de Guatemala se reduce anualmente en un 1%, en 2006 se contaba con 3.87 millones de hectáreas y en 2010 se disponía únicamente de 3.72 millones de hectáreas; en estos años, el 95% de la deforestación fue para aprovechamiento y el 5% provocada por incendios. A pesar de la implementación de programas como el PINFOR, PINPEP, las licencias forestales y la ejecución del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas SIGAP, las áreas boscosas de nuestro país se siguen reduciendo de forma acelerada; debido, entre otras cosas a la gran demanda industrial y doméstica con fines energéticos (IARNA URL, 2012).

Una de las causas de la deforestación en el país es la alta demanda de leña, principalmente en el área rural, el 65% de la población utiliza leña para la cocción de los alimentos y la calefacción en los hogares. De la demanda total de energía que se utiliza en el país, se estima que el 57% por ciento es proveniente de la leña, lo que genera una demanda anual de 27.98 millones de metros cúbicos, existiendo una oferta de 17.96 millones de metros cúbicos, por lo tanto, se denota que cada año se extrae 10.02 millones de metros cúbicos de leña, una tasa más alta de acuerdo a la regeneración natural. (INAB, 2015).

Con esta investigación se identificó una alternativa de energía renovable con potencial para sustituir total o parcialmente la leña en las cocinas del área peri urbana y urbana en Huehuetenango, a través de la elaboración de briquetas formadas a base de pulpa de café y rastrojo de maíz, los cuales son desechos de la agroindustria que, al no darles manejo, generan contaminación ambiental.

Uno de los principales residuos de la producción de café, es la pulpa, la cual representa un 29% del peso total de la fruta. En Guatemala, este subproducto es desechada sin ningún tipo de manejo, además la deposición sin tratamiento de ella en el suelo disminuye la microflora



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

y microfauna edáfica, debido a la presencia de contaminantes como lo son los fenoles y polifenoles que constituyen la pulpa, además de ello, estas sustancias aumentan la acidez del suelo (Gutiérrez, Rodríguez, García, & Feregrino, 2020), tomando en cuenta que para el año 2022-2023, la producción nacional alcanzó los 4.35 millones de quintales de café oro, los residuos generados para ese año equivalen a 1.8 millones de quintales de pulpa de café (Prensa libre, 2023). Para el caso del maíz, según datos oficiales su siembra abarca en el país entre 500,000 ha en monocultivo y otras 165,000 en asociación con frijol (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA-, 2002). Tanto el rastrojo como la pulpa de café, están actualmente subutilizados.

La realización de la propuesta de investigación permitió determinar: (I) la efectividad del prototipo para la generación de briquetas a través de la pulpa de café, (II) Obtener un protocolo de elaboración de briquetas fácil de aplicar. (III) Sentar las bases para el desarrollo de un emprendimiento escalable y dirigido para un grupo organizado de mujeres, (IV) Obtención de una nueva alternativa para brindar otro uso prolongado a la pulpa de café de menor impacto ambiental (III) Ahorro en el consumo de leña o de gas propano.

2. Contexto de la investigación

2.1. Delimitación en tiempo

La investigación fue realizada partir del primero de junio, al treinta y uno de diciembre del año 2024, con una duración de siete meses. Durante este periodo, se incluyó la fase de campo, que abarca la realización del experimento en el laboratorio del Centro Universitario de Noroccidente, en donde se realizaron las pruebas de composición y los ensayos para las variables cuantitativas, algunas muestras como de poder calorífica y emanación del dióxido de carbono, se realizó en el mes de octubre en los laboratorios del ministerio y de energía y minas y en el de maderas de la facultad de Ingeniería durante ese mismo período. La prueba de validación se llevó a cabo en el mes de noviembre en la Jacaltenango y Santa Bárbara, ambos son municipios de Huehuetenango y corresponden a la etnia Poptí y Mam respectivamente. La fase de gabinete final, donde se analizaron y procesaron los resultados, para luego poder presentarlos y socializarlos se desarrolló en enero 2025.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

2.2. Delimitación espacial

La investigación fue realizada en el Centro Universitario de Nor Occidente –CUNOROC– para el desarrollo del prototipo de briqueta y la fase experimental, para ello se estableció el área experimental, donde se fabricaron las briquetas y ejecutaron las pruebas, en un espacio físico de una dimensión de 4 x 6 m. (24 m²), destinado a la recepción de material, ubicación de los equipos, área de fabricación y establecimiento de las unidades experimentales.

Los tratamientos se enviaron en al laboratorio de Maderas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en Ciudad Universitaria de la zona 12, y las pruebas de poder calorífico se desarrolló en los laboratorios del Ministerio de Energía y Minas, también en la ciudad capital de Guatemala. La fase de validación social, se desarrolló en Jacaltenango y Santa Bárbara, con grupos de mujeres con perfil urbano y periurbano en Jacaltenango y perfil completamente rural para el caso de Santa Bárbara.

3. Revisión de literatura

3.1. Marco teórico

3.1.1. Biocombustibles

Los biocombustibles son aquellos combustibles provenientes de la biomasa, la cual hace referencia al grupo de productos energéticos y materias primas renovables proveniente de materia prima orgánica de origen biológico. La utilización de los biocombustibles permite disminuir la emisión de dióxido de carbono y son un sustituyente de los combustibles fósiles (Salinas & Gasca, 2009)

3.1.2. Fabricación de briquetas

Las briquetas o también llamado bloque sólido, es un biocombustible en forma de pellets utilizado en las estufas o chimeneas, que sirve para la calefacción o cocción de los alimentos y sustituye principalmente el uso de leña (Salinas & Gasca, 2009)

La biomasa de desechos agrícolas, como lo es la cascarilla de café y el aserrín, se deben de manejar previo a ser utilizados, para evitar humo, por lo que se pueden transformar en briquetas, pulverizando la biomasa y posteriormente comprimiéndola en forma de pellets (Janczak, 1981). Para fabricar briquetas existen dos métodos, se puede realizar con aglutinantes o sin la presencia de estos; sin embargo, cuando no se utilizan aglutinantes, es necesario requerir de prensas, energía y máquinas o áreas de secado (Janczak, 1981).

Las principales características de una briqueta son: físicas: humedad, densidad, forma y color, b) Químicas: Poder Calorífico y c) Físico químicas: temperatura máxima, potencia calorífica. (Rutiaga, Morales, & López, 2023). Respecto a su forma, la cilíndrica está pensada para uso doméstico en estufas o chimeneas, esta forma es la que se asemeja más a la de la leña; sin embargo, también son muy usadas la de forma octogonal con un hueco en el centro, con esta



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

forma se consigue una mejor ignición. (Marcos, 2009). Al hablar de densidad, el objetivo es generar un producto con mayor densidad, a la de sus materiales iniciales. El tener un producto denso, permite que el transporte, la manipulación y el almacenaje sean más fáciles (Marcos, 2009). Sin embargo, la materia prima, como la presión ejercida en la fabricación determina la densidad final. Los materiales para la fabricación pueden oscilar entre el 12% de humedad previo a la compactación, después de ello la materia se seca aún más, obteniendo briquetas de un 8-10% de humedad (Marcos, 2009). Finalmente, el poder calorífico se define como la cantidad de energía que genera un kilogramo de materia al ser quemado. (Marcos, 2009). Esta característica fundamental de los combustibles, describe si un combustible es bueno o no; cuando el PC es alto, indica que el combustible es bueno y cuando el PC es bajo, el combustible es más discreto.

3.1.3. Cultivo de maíz (*Zea mays*)

a. Situación del cultivo de maíz en Guatemala

El cultivo de maíz es uno de los pilares importantes en la dieta de los guatemaltecos, principalmente en el área rural. En familias con escasos recursos, el consumo per cápita de este alimento es de 110 kilogramos, aumentando comúnmente cuando el ingreso económico de las familias es muy bajo, además, es un alimento ligado culturalmente, por ende, este cultivo ocupa la mayor superficie a nivel nacional Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), estimó para el 2019 que del 35,41% de área con potencial de uso agrícola del país, el maíz ocupa el 22,5%, la mayor comparada con otros cultivos (Chávez, 2022).

b. Producción y rendimientos del maíz en Guatemala

El maíz en Guatemala se cultiva en los 22 departamentos, siendo El Peten el que presenta mayor cobertura con un 18%, seguido de Alta Verapaz con 10% y quiche con 8%; Se estima que en Guatemala 1 007 000 agricultores se dedican a la producción de maíz, de ellos, el 92% lo hacen por su propia cuenta, mientras que el resto son productores organizados y entidades privadas. Los pequeños productores de Guatemala se caracterizan principalmente por poseer en promedio 0,6 hectáreas de tierra para cultivo, normalmente están en pobreza o pobreza extrema, y representan el 60,8% del total de productores (Chávez, 2022).

c. Respecto a la producción de maíz

Los cereales, son los cultivos que más contenido de residuos dejan sobre la superficie del suelo después de la cosecha, específicamente estos residuos, son considerados un material de difícil degradación. En cuanto al maíz, este es un cultivo que produce grandes volúmenes de rastrojo, siendo equivalente al 50% del total de la planta. Una de las prácticas más comunes para la eliminación del rastrojo es la quema del mismo, debido a sus grandes volúmenes (Venegas, Carrasco, & Aguirre, 2018).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3.1.4. Cultivo de café (*Coffea arabica*)

a. Producción y rendimientos del café en Guatemala

El cultivo de café en Guatemala no solo es importante por su economía, sino también de forma cultural y ambiental. Es cultivado en 21 de los 22 departamentos de Guatemala y en 239 municipios de los 330, la mayor producción la tiene Santa Rosa con un 20% del total, seguido de San Marcos con un 14.7% y Huehuetenango con 11.7% (Central American Business Intelligence (CABI), 2021).

b. Residuos de la producción de café

En el proceso de cultivo e industrialización del café, solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 95% restante está representado por residuos. Los principales subproductos que se generan en el proceso de beneficio e industrialización del fruto de café y en los procesos de renovación del cultivo son: la pulpa, el mucílago, el cisco, las pasillas, la borra y los tallos de café. La pulpa de café se genera durante la etapa del despulpado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco (Fernández, Sotto, Vargas, & Luis, 2020)

4. Planteamiento del problema

La pérdida de la cobertura forestal en Guatemala, ha ido aumentando en cada década, para 2010 se estimó que la tasa de deforestación bruta anual fue de un 3.4%, en total el país ha perdido un 30.05% de su cobertura forestal desde 1,950 hasta 2,010; siendo un dato preocupante. Entre las principales causas de la deforestación en Guatemala, se encuentra: el cambio de uso del suelo de bosques a ganadería extensiva, expansión de monocultivos como la palma africana y caña de azúcar, actividades de extracción minera, urbanización, narco ganadería, los incendios forestales derivados de estas actividades o inducidos intencionalmente y la degradación cualitativa de los bosques para la obtención de leña, destinada a la cocción de alimentos, calentamiento de agua y del hogar (Universidad Rafael Landívar, 2022).

Según datos que presentan por la ONU; el 23% de las personas latinoamericanas dependen únicamente de la leña como fuente de energía calorífica, lo que representa un consumo de 66 millones de toneladas de leña al año en Latinoamérica (Balseca, Lòpez, Viteri, Analuisa, & Hernandez, 2018). Para el caso de Guatemala el 64% de la población depende de la leña como fuente de energía calorífica, para la cocción de los alimentos y como combustible para calentar sus viviendas; la mayor parte de esas personas, específicamente un 67% pertenecen al área rural. (Banco de Guatemala - Universidad Rafael Landivar, 2009).

Una alternativa de energía renovable más sustentable para la sustitución de la leña, es la biomasa de fuentes agroindustriales, en donde se centró esta investigación. Sabiendo que, en Guatemala, el cultivo de café es prioritario, por su aporte en el Producto Interno Bruto de 2.5%, además que el cultivo se produce en los 21 de los 22 departamentos del país, y que uno de sus principales desechos es la pulpa (De León & Rodriguez, 2021). Respecto al cultivo de maíz, es uno de los pilares en la alimentación guatemalteca, que contribuye en gran parte a



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

la seguridad alimentaria del área rural y es el cultivo que ocupa la mayor superficie de siembra a nivel nacional, cultivado en los 22 departamentos (Chávez, 2022).

La conversión de la pulpa de café y rastrojo de maíz, para la generación de energía calorífica, representa una oportunidad significativa para disminuir los problemas ambientales derivados de la deforestación y la acumulación de residuos de café principalmente o en combinación con rastrojos de maíz.

Sin embargo, en Guatemala, se carece de un análisis exhaustivo que evalúe la viabilidad técnica, económica y ambiental de esta tecnología, enfocado principalmente en las cocinas de hogares rurales del país.

De tal manera que la propuesta planteó el desarrollo de briquetas de pulpa de café solo y en combinación con rastrojos de maíz, para manejar los residuos agroindustriales de los cultivos y minimizar la utilización de la leña o gas propano y fomentar la economía circular, conservar los sitios de vegetación natural para mejorar la productividad a través de mayor presencia de abejas, esto en las cocinas de los hogares rurales en Huehuetenango con impacto profundo a nivel nacional y regional.

El objetivo de desarrollo sostenible –ODS- número doce, plantea la producción y consumo sostenible, en donde se debe garantizar el consumo y producción sostenible, como una prioridad (ONU, 2023), por tal razón esta propuesta de investigación planteó elongar la vida útil y productiva de la pulpa de café y rastrojo de maíz, puesto que con el desarrollo de briquetas a partir de pulpa de café y rastrojo de maíz se desarrolló una nueva fuente energética para los hogares rurales e industria relacionados en la cadena de producción del cultivo de café, ya que de acuerdo al informe sobre oferta y demanda de leña en Guatemala existe un déficit de 5,721,626 t en base seca anualmente, en donde menciona además que ese déficit supone la confirmación que se está avanzando sobre las reservas forestales del país. (Larrañaga & Marco, 2012), por lo que es preciso repensar una nueva fuente de energía renovable.

En este sentido, las preguntas de investigación que planteó la propuesta de investigación son:

1. ¿Qué características y propiedades físico-químicas poseen las briquetas de pulpa de café y residuos de maíz?
2. ¿Las briquetas desarrolladas en el proyecto, por su rendimiento calórico, cualidades sociales y aspectos culturales de las familias, son un producto factible para su adopción y difusión como sustituto de leña en comunidades rurales de Huehuetenango?
3. ¿Qué viabilidad económica presenta la producción de briquetas de pulpa de café?



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Caracterizar las propiedades físicas química de briquetas a partir de desechos agrícolas de café y maíz para ser utilizadas como combustible en cocinas del área rural.

5.2. Objetivos específicos

1. Evaluar las características físico-químicas de briquetas elaboradas a base de distintas combinaciones de pulpa de café y rastrojo de maíz para sustituir a la leña en hogares rurales.
2. Determinar el rendimiento y aceptabilidad de las briquetas para la cocción de alimentos por las familias del área rural.
3. Determinar la factibilidad económica y financiera de la producción de briquetas desarrolladas a partir de la presente investigación.

6. Hipótesis

Ha₁: La combinación de los materiales de pulpa de café y rastrojos de maíz, aglutinantes y presión de compactación, brindan mejores características físico químicas para ser utilizadas como combustible o leña en hogares rurales.

Ha₂: Existen ventajas económicas que sugieren el uso de las briquetas desarrolladas por el proyecto en cocinas de los hogares del área rural.

7. Método

7.1. Tipo de investigación.

Se realizó una investigación experimental

7.2. Enfoque y alcance de la investigación.

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo experimental, debido a que la información obtenida tuvo que ser procesada con cálculos matemáticos, estadísticos y gráficas para poder ser analizada, esto se desarrolló principalmente para las variables cuantitativas, tales como: poder calorífico, tiempo de combustión, densidad, y algunas variables de calidad que se interpretaron haciendo uso de estadística descriptiva. Sin embargo existió una fase de validación social del uso de las briquetas, donde el principal objetivo fue la identificación los motivos por los cuales las familias del área rural, urbano o peri urbano, se le consultó las razones por las cuales deciden utilizar o no, las briquetas como fuente de combustión en la hoguera familiar, para ese caso se utilizó la técnica de grupo focal en dos grupos de investigación, uno en Jacaltenango y otro en Santa Bárbara Huehuetenango y para ello se elaboró un instrumento con 11 preguntas generadoras, las cuales orientaron a validar la aceptación del uso de briquetas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.3. Diseño de la investigación.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un experimento bifactorial bajo el diseño en bloques completos al azar con arreglo combinatorio, el cual se caracteriza por el siguiente modelo estadístico: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$. Un factor de estudio fue la composición de la briqueta, es decir: la proporción entre pulpa de café y rastrojo de maíz picado, y el otro factor fue los agregados o aglutinante, los cuales fueron: el almidón de yuca y la arcilla.

El experimento estuvo compuesto de 6 tratamientos, cada tratamiento con 5 repeticiones, haciendo un total de 30 unidades experimentales. Cada tratamiento estaba combinado de 2 desechos agrícolas distintos: pulpa de café y rastrojo de maíz, los cuales variaran en 3 proporciones, así como 100 % pulpa de café, 75 % pulpa de café, 25 % rastrojo de maíz y 50 % de rastrojo de maíz más 50 % rastrojo de maíz, 2 tipos de aglutinante (almidón de yuca y arcilla), cada tratamiento contó con un iniciador denominado colofonia y una presión de compactación de 10 US-Tons.

Con el mejor tratamiento identificado en la fase experimental, es decir la mejor briqueta con características físicas y químicas mejores, se comparó con la leña de uso tradicional bajo las condiciones de cocinas de hogares en Jacaltenango y Santa Bárbara, para ello se utilizó la técnica del grupo focal, la cual fue dirigida por una especialista de las ciencias sociales, con la finalidad de identificar el uso o adopción de la tecnología identificada.

7.4. Población, muestra y muestreo.

Los resultados del presente estudio fueron planteados en un primero momento para hogares del área rural, en ese sentido se planificó pruebas de cocción en las cocinas del área rural, urbana y periurbana, la cual se desarrolló posterior a la fase experimental. Se planificó el desarrollo de grupo focales uno el municipio de Jacaltenango con una característica maya Poptí, mujeres jefa de hogar, algunas con negocios dentro del casco urbano del municipio y otro grupo focal en el municipio de Santa Bárbara, todas campesinas jefas de hogar con responsabilidad directas en cuidar de la salud, alimentación de la familia y el desarrollo de actividades agropecuaria para complementar la alimentación de la familias, hogares eminentemente rurales, ambos municipios del departamento de Huehuetenango, cabe mencionar que las dos zonas de estudio son zona en donde se produce café. La prueba consistió en desarrollar y verificar los tiempos totales de ignición y ebullición de agua, utilizando la leña del campesino y bajo las condiciones de los fogones del hogar, en donde se probó únicamente el tratamiento con mejores condiciones de poder calorífico. En cada municipio se realizó un grupo focal compuesto por 23 personas aproximadamente, conformadas por madres de familia que cocinan utilizando principalmente leña.

El Protocolo de investigación no contempló el desarrollo de un grupo focal con grupos organizados como cooperativas de producción y comercialización de café, pero se planificó un grupo focal para conocer el punto de vista de la adopción de la tecnología por parte de miembros de la Cooperativa de Producción y Comercialización de Café Río Azul en



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Jacaltenango, estando presentes 15 personas todas hombres técnicos, productores y directivos de la cooperativa, para conocer la factibilidad de adopción y escalamiento de la tecnología de briquetas.

Por otro lado, se desarrolló en las instalaciones del Centro Universitario de Noroccidente – CUNOROC- principalmente de la carrera de Ingeniería Forestal se elaboró un taller de elaboración de briquetas, compuesto por 20 estudiantes con la finalidad de dar a conocer la tecnología, pero para explorar su opinión en cuando al dominio de recomendación de la tecnología.

Durante el estudio no se planteó un muestreo para la fase de validación social. Para el caso de la mujeres de Jacaltenango, la invitación de las personas a los grupos focales fue de manera dirigida de acuerdo al perfil identificado en la investigación, por parte del equipo de investigación, Para el caso de la Cooperativa Río Azul, fue la Junta Directiva que invitó a los participantes, previo a conocer los objetivos de investigación y en Santa Bárbara, con ayuda del delegado del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA, se invitó a una reunión al grupo de mujeres a la casa de la promotora del grupo.

7.5. Técnicas

Tabla 1. Descripción de Técnicas e Instrumentos

Objetivo Específico	Técnica	Instrumento
OE.1	<p>Para la presión de compactación se utilizó la técnica de la compresión mecánica de la materia</p> <p>Para la resistencia de los agregados, se realizaron pruebas de caída libre de las briquetas, la cual se realizó a un metro de altura repetidamente hasta lograr la fragmentación.</p> <p>Para las variables químicas de poder calorífico se utilizó la técnica medición del calor generados durante el tiempo de combustión de un kg de briqueta.</p>	<p>Boletas de campo en el registro de la información proveniente de los sensores de presión.</p> <p>Metro Cronometro Boletas de campo</p> <p>Lecturas de la termo cámara Bosh y análisis de poder calorífico realizado por el MEM.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Descripción de Técnicas e Instrumentos

	<p>Para la variable humedad se utilizó la diferencia de pesos luego de haber sometido a 24 horas 100 gr de briqueta a una temperatura 105°C en un horno</p> <p>Para el tiempo de combustión se realizó una prueba preliminar que consiste en determinar la cantidad de tiempo que dura el biocombustible a utilizar para hervir 5 litros de agua y mantener la ebullición, eso aplicará para todos los tratamientos.</p> <p>Para el caso de emisión de dióxido de carbono y sólidos dispersos en el aire, se desarrolló las pruebas en el Laboratorio de maderas de la Facultad de Ingeniería de la USAC.</p>	<p>Boleta de registro de información, balanza, horno de convección, calculadora.</p> <p>Estufa ahorradora de leña, ollas con capacidad de 5 litros con tapadera, cronómetros, balanzas, boletas de registro.</p> <p>Cámara de combustión.</p>
O.E.2	<p>Para el análisis de aceptabilidad se realizó un estudio en campo para identificar los obstáculos, como los factores que promuevan el uso de las briquetas como sustituto de la leña, el cual estuvo dirigido principalmente a mujeres madres de familia del área rural, sin embargo, se tomó un grupo de hombres en la cooperativa de producción y comercialización de café Río Azul.</p>	<p>Fichas de entrevistas semi estructuradas, papel, lápiz, tablero, celular</p>
O.E.3	<p>Para el análisis económico, se utilizó la técnica de Costos de producción para el análisis de datos experimentales, de acuerdo a la metodología de CIMMYT 1986</p>	<p>Boleta de análisis de datos, calculadora, papel y lápiz.</p>

Nota: En esta tabla se presentan los objetivos específicos, las técnicas utilizadas y los instrumentos empleados en el estudio. La información está organizada para facilitar la comprensión de la metodología aplicada.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.6. Resumen de las variables o unidades de análisis

Medición de las variables: elaboradas las briquetas, se realizó una caracterización física, donde se observó la forma / textura, el tamaño y el color de cada una, como también se efectuó pruebas de caída libre, para determinar la integridad mecánica, lo cual indica las características de almacenamiento de las briquetas desarrolladas.

Los tratamientos se clasificaron por tratamiento; posteriormente se realizó una caracterización química, donde se determinó el contenido de humedad, también el poder calorífico y ensayos de incineración. Además, se desarrolló pruebas de generación de dióxido de carbono y partículas dispersas en el ambiente.

Caída libre: se midió el número de impactos de la briqueta desde una altura de un metro sobre un piso de cemento, esto por varias veces hasta lograr la fragmentación, con la finalidad de ver que la capacidad de conservar la forma y tamaño, simulando condiciones de transporte o almacenamiento. (Chamarravia & Moreno, 2022)

Contenido de humedad (%): al momento de desmoldar los tratamientos, se registró primero el peso de cada briqueta esto con la finalidad de obtener su peso húmedo o inicial, posteriormente se llevó al horno a una temperatura de 600C° durante 72 horas, para obtener su peso seco o final. Una vez se contó con estos valores se aplicó la formula: contenido de humedad= ((peso inicial-peso seco) / peso seco) *100

Poder calorífico (MJ/Kg): para poder medir esta variable primero, cada briqueta de los diferentes tratamientos se llevó a molienda, luego se tamizó en un mesh calibre 100, seguidamente se pesaron 120 g de cada muestra, cantidad que fue enviada al laboratorio del Ministerio de Energía y Minas (MEM), quienes emplearon el método de prueba estándar D240 de ASTM. Para ello se utilizó el siguiente procedimiento:

- **Preparación de la Muestra:** Se preparó una muestra representativa del combustible.
- **Calorímetro de Bomba:** La muestra se colocó en un calorímetro de bomba, que es un dispositivo que permite medir el calor liberado durante la combustión completa de la muestra.
- **Combustión:** La muestra se quemó en el calorímetro de bomba, y se midió el aumento de temperatura resultante.
- **Cálculo del Calor de Combustión:** Se calculó el calor de combustión a partir de la medición del aumento de temperatura
- **Calorímetro de Bomba:** La muestra se colocó en un calorímetro de bomba, que es un dispositivo que permite medir el calor liberado durante la combustión completa de la muestra (ASTM, 2019)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tiempo de combustión (minutos): para ello se tomó una repetición por cada tratamiento, se procedió a encenderla para que combustione, luego se procedió a medir el tiempo de ignición en uno, quince, treinta, cuarenta minutos y fin de la combustión de un kilogramo de briqueta. Además, se hicieron pruebas para hervir 5 litros de agua, para determinar que tratamientos llegaron a punto de ebullición, procedimiento propuesto por la Alianza global de estufas limpias en 2016.

Densidad (Kg/cm³): esta se calculó después de haber secado las briquetas, encontrándose las mismas con una humedad entre el 8 y 12%, así mismo, se empleó la siguiente formula: masa de materia/ volumen de la materia.

Para poder encontrar la densidad de las briquetas, se determinó la humedad al inicio de la compactación de los materiales a utilizar. Para comprimir los materiales o desechos orgánicos se utilizó una prensa hidráulica, utilizando para su compresión 10 Us- TONS. Tratando la manera de no dejar espacios porosos entre los materiales.

Porcentaje de cenizas (%): las briquetas que han tenido un proceso de secado de 8 a 10 días se procedió a quemarlas y media vez han sufrido un proceso de combustión se obtuvieron cenizas y pesadas en gramos. Utilizando las variables de peso de la muestra, obtenida de la fabricación y el peso de cenizas. Para ello se empleó la siguiente formula: (Peso del residuo de la muestra / Peso de la muestra) * 100

Levantamiento de datos: los datos se tomaron conforme se avanzaron en las pruebas experimentales y en campo, en formatos previamente establecidos, para su posterior limpieza, ordenamiento, análisis y presentación en tablas de resultados de fácil comprensión para su publicación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2. Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
1. Evaluar las características físico-químicas de briquetas elaboradas a base de distintas combinaciones de pulpa de café y rastrojo de maíz para sustituir a la leña en hogares rurales.	textura, el tamaño y el color de cada briqueta.	Tacto, tabla de Munsell.	Código
	Caída libre	Metro	Un metro
	Contenido de humedad	Balanza analítica	Gramos
	2. Determinar el rendimiento y aceptabilidad de las briquetas para la cocción de alimentos por las familias del área rural.	Poder calorífico	Calorímetro de bomba
Grupos focales		Preguntas estructuradas	Número de personas
3. Determinar la factibilidad económica y financiera de la producción de briquetas desarrolladas a partir de la presente investigación	Análisis económico	Fórmulas matemáticas	Quetzales

Nota: Se presenta los objetivos específicos de la investigación, las variables analizadas, los instrumentos para la recolección de datos y las unidades de medidas empleadas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.6. Procesamiento y análisis de la información.

Con la matriz de datos obtenidos y para las variables cuantitativas, se generó un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de significancia del 95%, el cual se analizó bajo los preceptos del diseño experimental bloques completos al azar bajo el arreglo bifactorial combinatorio, haciendo uso del software estadístico INFOSTAT® que determinó la presencia o ausencia de significancia estadística en la interacción de los tratamientos evaluados respecto a las variables respuesta tomadas en consideración. En los tratamientos que presentaron diferencia estadística se procedió a realizar una prueba múltiple de medias bajo el criterio de Tukey en el programa INFOSTAT® con un 5% de significancia con el fin de determinar los mejores tratamientos en base al interés de la investigación.

Para variables cualitativas, como la prueba de caída libre, se tomó en cuenta la descripción de la disgregación de la briqueta y de las características vistas como desmoronamiento y descripción táctil de la textura.

8. Resultados y discusión

8.1. Caracterización de briquetas

Las briquetas elaboradas con 100% pulpa de café, presentaron un diámetro de 6.0 cm y una altura de 8 cm, para el caso de las que tenían 75% de café y 25% de rastrojo de maíz, 6.0 cm de diámetro y 9 cm de altura, las de 50% de pulpa de café y 50% rastrojo de maíz, 5.75 cm de diámetro y una altura de 10 cm. Todas de forma cilíndrica y mezcladas con almidón de yuca como aglutinante.

Para el caso de las briquetas utilizando como aglutinante la arcilla, las de 100% pulpa de café, presentaron un diámetro de 5.5 cm, una altura de 8 cm, para los tratamientos de 75% pulpa de café y 25% de rastrojo de maíz, tuvieron un diámetro de 5.5 cm y altura de 10 cm y por último las de 50% de pulpa de café y 50% de rastrojo de maíz, mostraron un diámetro de 5.5 cm y 11 cm de altura.

Los diámetros y alturas, difieren por las proporciones de los materiales y aglutinantes utilizados en la elaboración de cada tratamiento, ya que una vez extraídas las briquetas del molde tienden a cambiar en tamaño por las proporciones de los materiales, en donde se observó que, a mayor presencia de rastrojo de maíz, el volumen también aumenta y el color tiende a marrón claro.

La textura que presentaron las briquetas fue rugosa, el color varió según las mezclas y proporciones, y para poder determinarlo a través de la comparación de la briqueta, después de secado, con los colores de la tabla de Munsell, presentándose los resultados en la tabla 3.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla. 3 códigos obtenidos en la tabla de colores de Munsell para determinar el color de la briqueta

Tratamiento	Tone (Hue)	Valor (Value)	Croma (Chroma)	Código Munsell
1	5YR	3/	2/	5YR 3/2
2	2.5Y	5/	4/	2.5Y 5/4
3	2.5Y	6/	4/	2.5Y 6/4

Nota: El tratamiento 1, briqueta elaborada con el 100% de pulpa de café, tratamiento 2, briqueta elaborada con 75% pulpa de café y 25% de rastrojo de maíz, y tratamiento 3, briqueta elaborada con 50% de pulpa de café y 50% de rastrojo de maíz.

La determinación de colores solo se realizó para los primeros tres tratamientos, ya que las mezclas y proporciones son las mismas para los demás tratamientos.

- Briquetas elaboradas de 100 % pulpa de café, presentó una tonalidad café oscuro.
- Briquetas elaboradas de 75% de pulpa de café y 25% de rastrojo de maíz presentó un color café marrón claro
- Briquetas elaboradas de 50% de pulpa de café y 50% de rastrojo de maíz presentó un color café claro.

8.2. Caída libre

Aquí es preciso separa los resultados por dos grupos, el primer grupo son las briquetas aglutinadas con almidón de yuca, siendo los resultados los siguientes: las briquetas elaboradas a partir de 100 % pulpa de café, se fragmentaron al quinto lanzamiento. Las elaboradas a partir de 75% de pulpa de café y 25% de rastrojo de maíz, se fragmento en el primer lanzamiento al igual que la elaborada de 50% de pulpa de café y 50% de rastrojo de maíz, a todas se les colocó el 5% de almidón de yuca como aglutinante y con una presión de 10 Us Tons.

El segundo grupo de análisis, corresponde a las briquetas elaboradas a partir de aglutinante de arcilla, siendo los resultados siguientes: briquetas de 100 % pulpa de café, se fragmentaron al tercer lanzamiento. Las elaboradas a partir de 75% de pulpa de café y 25% de rastrojo de maíz, se fragmentaron al segundo lanzamiento y la de 50% de pulpa de café y 50% de rastrojo de maíz, en el primer lanzamiento, todas fueron mezcladas con el 5% arcilla como aglutinante y a una presión de 10 Us Tons.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Con los datos obtenidos se cuantifico la fragmentación del material, para efectos de inferir el comportamiento de las briquetas durante el transporte o almacenamiento, se identificó que las briquetas elaboradas con 100% pulpa de café más almidón de yuca como aglutinante en una proporción del 5%, influyen en la resistencia y compactación, siendo más resistentes físicamente, lo cual indica buenas condiciones para su transporte o para ser almacenadas en estibas, el mucilago del café sin duda es el factor importante que realizar mejor compactación del material.

Además, es importante mencionar que el almidón de yuca hace además buena agregación del material por lo que su uso no debe ser menor al 5% en el proceso de fabricación de la briqueta. El tratamiento 1 (compuesto de 100% pulpa de café + 5% almidón de yuca + 10% colofonia) fue el que presento mejor resistencia a la desagregación, manteniendo un promedio de 5 golpes en caída libre, antes de desintegrarse. Por lo que se identifica que el almidón de yuca genera mayor agregación de los materiales en comparación con la arcilla; además, que la pulpa es un material que se agrega de mejor manera en comparación con el rastrojo de maíz.

8.3. Contenido de humedad

Tabla 4. Características de humedad del tratamiento 1, -100% de pulpa de café, más almidón de yuca y colofonia. -

Repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	528.2	449	14.99
2	511	411.2	19.53
3	519.15	424.55	18.22
4	516	420.8	18.45
5	529.2	427.6	19.20
Promedio			18.08

Nota: Para el tratamiento 1, se elaboraron briquetas con una base de 5% de almidón de yuca, mezclando el aglutinante con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó la colofonia como iniciador en una proporción del 10%, esto se mezcló con 100% de pulpa de café. Para este tratamiento se tiene un promedio de 18.08 % de humedad, luego de haber fabricado la briqueta, lo cual se considera alto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 5. Características de humedad del tratamiento 2, -75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía-.

repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	527.2	452	14.26
2	520.3	446.2	14.24
3	516.4	438	15.18
4	519.6	429.75	17.29
5	540.2	416.5	22.90
Promedio			18.08

Nota: Para el tratamiento 2, se elaboraron briquetas con una base de almidón de yuca en una proporción del 5%, mezclando el aglutinante con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó la colofonía como iniciador en un 10%, esto se mezcló con 75 % de pulpa de café más 25 % de rastrojo de maíz. Para este tratamiento se tiene un promedio de 18.08 %, lo cual es la humedad de la briqueta luego de haberse fabricado, siendo un contenido alto.

Tabla 6. Contenido de humedad para el tratamiento 3, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía-.

Repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	530.25	455.4	14.12
2	528.6	446.8	15.47
3	518.35	441.2	14.88
4	522.45	443.8	15.05
5	542.4	425.7	21.52
Promedio			16.21

Nota: Para el tratamiento 3, se elaboraron briquetas con una base de almidón de yuca en una proporción del 5%, mezclando el aglutinante con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó la colofonía como iniciador en un 10%, esto se mezcló con 50 % de pulpa de maíz más 50 % de rastrojo de maíz. Para este tratamiento se tiene un promedio de humedad fue de 16.21 %, siendo la humedad luego de haberse fabricado la briqueta, considerada humedad alta.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024**Tabla 7. Contenido de humedad para el tratamiento 4, -100% pulpa de café, más arcilla y colofonia-.**

Repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	530.55	442.7	16.56
2	533.45	438.55	17.79
3	545	449.45	17.53
4	531.45	446	16.08
5	544.2	397.2	27.01
Promedio			18.99

Nota: Para el tratamiento 4, se elaboraron briquetas con una base de arcilla en una proporción del 5%, mezclando el aglutinante o arcilla con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó colofonia como iniciador en un 10%, esto se mezcló con 100% de pulpa de café. Para este tratamiento se tiene un promedio de 18.99 %, siendo la humedad luego de haber realizado la briqueta, considerada humedad alta.

Tabla 8. Contenido de humedad para el tratamiento 5, -75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonia-.

repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	546.25	453	17.07
2	523.95	436.25	16.74
3	533.3	456.6	14.38
4	534.25	459.1	14.07
5	551	410.7	25.46
Promedio			17.54

Nota: Para el tratamiento 5, se elaboraron briquetas con una base de arcilla como aglutinante en una proporción del 5%, el cual fue mezclando con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó la colofonia como iniciador en un 10%, esto se mezcló con 75 % de pulpa de café más 25 % de rastrojo de maíz. Para este tratamiento se tiene un promedio de 17.54 % de humedad de la briqueta al final de su elaboración, siendo un contenido alto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 9. Contenido de humedad para el tratamiento 6, -50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, arcilla y colofonia.

repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	539.6	452.35	16.17
2	530.75	444.1	16.33
3	527.95	446.55	15.42
4	535.05	455.05	14.95
5	454	412.9	9.05
Promedio			14.38

Nota: Para el tratamiento 6, se elaboraron briquetas con una base de arcilla en una proporción del 5% como aglutinante, el cual se mezcló con 50 ml de agua, al mismo tiempo se utilizó colofonia como un iniciador en una proporción del 10%, esto se mezcló con 50 % de pulpa de café más 50 % de rastrojo de maíz. Para este tratamiento se tiene un promedio de 14.38 % humedad de la briqueta al finalizar su elaboración, siendo un contenido alto.

En las tablas 10 y 11 se presenta los resultados de análisis de varianza para determinar el contenido de humedad en las briquetas de cada tratamiento.

Tabla 10. Análisis de la varianza para la variable contenido de humedad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	30	0.17	2.2E-03	21.04

Tabla 11. Análisis de la varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64.78	5	12.96	1.01	0.4320
Tratamientos	64.78	5	12.96	1.01	0.4320
Error	307.06	24	12.79		
Total	371.84	29			

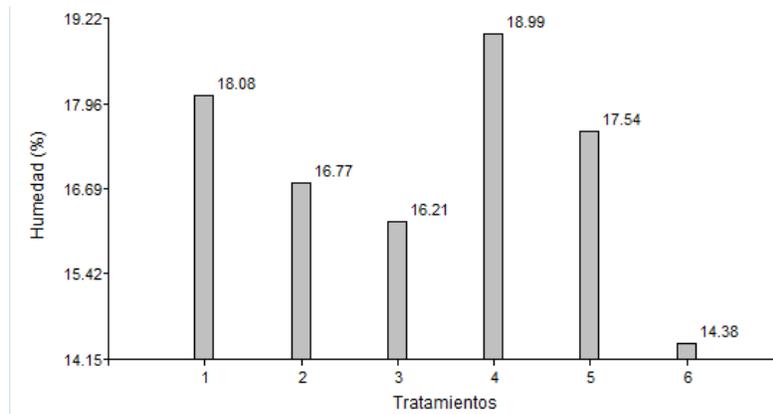
Nota: El modelo tiene una suma de cuadrados (SC) de 64.78, con 5 grados de libertad (gl) y un cuadrado medio (CM) de 12.96. El valor F es 1.01 y el p-valor es 0.4320. Esto indica que el modelo no es estadísticamente significativo al nivel del 0.05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos analizados.

Los tratamientos tienen los mismos valores que el modelo, lo que refuerza la falta de significancia del modelo. El error tiene una suma de cuadrados (SC) de 307.06 y 24 grados de libertad (gl), con un cuadrado medio (CM) de 12.79. El total tiene una suma de cuadrados

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

(SC) de 371.84 y 29 grados de libertad (gl). En resumen, el análisis de varianza muestra que el valor de F es bajo y el p-valor es alto, lo que sugiere que no existe significancia estadística.

Figura 1. Contenido de humedad de las briquetas.



Nota: La gráfica de barras muestra el contenido de humedad de los diferentes tratamientos y repeticiones de las briquetas. Las briquetas que presentaron mayor contenido de humedad fueron los tratamientos 4 presentando el 18.99 %, seguido del tratamiento 1, con un 18.08 % de humedad, luego el tratamiento 2 con el 16.77 % de humedad, los tratamientos 3 y 6, presentaron bajos porcentajes de humedad siendo de 16.21% y 14.38% respectivamente, esto porcentajes se encuentran dentro de los rangos aceptables de acuerdo Huaman, Ramírez, Surichaqui (2021) quienes indican que la misma debe de ser de 15-20%. Por su parte Vera y Mercedes señalan que de ser muy baja la humedad, no hay una adecuada aglomeración y la compactación es defectuosa.

Los datos anteriores sugieren que se elaboraron briquetas con un adecuado porcentaje de humedad, siendo esto parte importante, sin embargo, para la utilización de la briqueta, es necesario realizar un proceso de secado, que puede durar hasta 15 días, para lograr una reducción de la humedad, para una buena combustión porque una briqueta con una alta humedad afecta el poder calorífico y genera más humo.

Todas las briquetas luego de ser secadas disminuyeron su porcentaje de humedad; el cual, se encuentra dentro de los rangos aceptables según Huaman, Ramírez, Surichaqui (2021) quienes indican que la misma debe de ser de 15-20%. Sin embargo, al momento de hacer las pruebas en campo se observó dificultades al momento de generar la ignición, emitiendo al inicio una cantidad de humo, siendo una condición negativa, al momento de valorar el uso de las briquetas por parte de las personas en los grupos focales.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8.4. Densidad

Tabla 11. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 1. 100% pulpa de café + yuca de almidón y colofonia (kg/m³)

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/m ³)
1	0.449	0.00194622	230.70
2	0.4112	0.00194622	211.28
3	0.42455	0.00194622	218.14
4	0.4208	0.00194622	216.21
5	0.4276	0.00194622	219.71
Promedio			175.58

Nota: Se presenta briquetas con desechos orgánicos como la pulpa de café, aglutinantes para adherir cada uno de los materiales a utilizar como almidón de yuca en un 5%, utilizando colofonia como iniciador en un 10 %, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final se compactaron para obtener las briquetas de forma cilíndrica, obteniendo en el tratamiento número 1 un promedio de 175.58. Kg/m³ siendo compactadas con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.

Tabla 12. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 2, -75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonia-. (Kg/m³)

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/m ³)
1	0.452	0.00183313	246.57
2	0.4462	0.00183313	243.41
3	0.438	0.00183313	238.94
4	0.42975	0.00183313	234.44
5	0.4165	0.00183313	227.21
Promedio			238.11

Nota: presenta las densidades de las briquetas elaboradas con desechos orgánicos 75% pulpa de café más 25% rastrojo de maíz, utilizando aglutinantes de almidón de yuca en un 5%, utilizando colofonia como iniciador en un 10 %, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final siendo compactados para obtener las briquetas de forma cilíndrica, teniendo en el tratamiento número 2 un promedio de 238.11 Kg/m³, siendo compactados con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024**Tabla 13. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 3, -50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía-. (Kg/m³)**

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/cm3)
1	0.4554	0.00181231	251.28
2	0.4468	0.00181231	246.54
3	0.4412	0.00181231	243.45
4	0.4438	0.00181231	244.88
5	0.4257	0.00181231	234.89
Promedio			244.208

Nota: Se presenta resultados de las briquetas elaboradas con desechos orgánicos en la proporción de 50% de la pulpa de café + 50% rastrojo de maíz, utilizando almidón como aglutinantes en una proporción del 5%, y utilizando un colofonia como iniciador en un 10 %, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final siendo compactados para obtener las briquetas de forma cilíndrica, teniendo en el tratamiento número 3 un promedio de 244.208 Kg/m³., siendo compactados con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.

Tabla 14. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 4, -100% pulpa de café, más arcilla y colofonía-. (Kg/m³)

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/cm3)
1	0.4427	0.00209073	211.74
2	0.43855	0.00209073	209.76
3	0.44945	0.00209073	214.97
4	0.446	0.00209073	213.32
5	0.3972	0.00209073	189.98
Promedio			207.95

Nota: Se presenta briquetas con elaboradas con el 100% de pulpa de café, se utilizó arcilla en un 5% como aglutinante y colofonia como iniciador en una proporción del 10 %, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final siendo compactados para obtener las briquetas de forma cilíndrica, teniendo en el tratamiento número 4 un promedio de 207.95 Kg/m³, siendo compactados con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 15. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 5, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonía-. (Kg/m³)

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/cm3)
1	0.453	0.00190067	238.34
2	0.43625	0.00190067	229.52
3	0.4566	0.00190067	240.23
4	0.4591	0.00190067	241.55
5	0.4107	0.00190067	216.08
Promedio			233.14

Nota: Se presentan los resultados de las briquetas elaboradas en una proporción siguiente: 75% pulpa de café, 25% rastrojo de maíz, arcilla como aglutinantes para adherir en una proporción del 5% y colofonia como iniciador en un 10 %, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final siendo compactados para obtener las briquetas de forma cilíndrica, teniendo en el tratamiento número 5 un promedio de 233.14 Kg/m³, siendo compactados con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.

Tabla 16. Densidad de la briqueta correspondiente al tratamiento 6, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, arcilla y colofonía-. (Kg/m³)

repeticiones	Peso seco (kg)	Volumen en (m3)	Densidad (Kg/cm3)
1	0.45235	0.00180563	250.52
2	0.4441	0.00180563	245.95
3	0.4441	0.00180563	245.95
4	0.45505	0.00180563	252.02
5	0.4129	0.00180563	228.67
Promedio			244.62

Nota: Se presenta los resultados de las briquetas elaboradas con las siguientes proporciones: 75% de pulpa de café, 25 % rastrojo de maíz, arcilla como aglutinante en un 5% y colofonia como iniciador en un 10%, estos materiales fueron mezclados y adheridos y al final siendo compactados para obtener las briquetas de forma cilíndrica, teniendo en el tratamiento número 6, un promedio de 244.62 Kg/m³, siendo compactados con una prensa hidráulica a una presión de 10 Us-Tons.

A continuación, se presentan datos estadísticos de los diferentes tratamientos determinando la densidad de las briquetas (Kg/m³), para cada una de las repeticiones.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 17. Análisis de la varianza para la variable densidad de briquetas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Kg/m ³	30	0.75	0.70	3.75

Tabla 18. Tabla de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5425.62	5	1085.12	14.47	<0.0001
Tratamiento	5425.62	5	1085.12	14.47	<0.0001
Error	1799.60	24	74.98		
Total	7225.23	29			

Nota: Se presentan los resultados del análisis de varianza para la variable densidad. Según los resultados de p-valor: Indica la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el observado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

El modelo tiene una suma de cuadrados (SC) de 5425.62, con 5 grados de libertad (gl.) y un cuadrado medio (CM) de 1085.12. El valor F es 14.47 y el p-valor es menor a 0.0001. Esto indica que el modelo es estadísticamente significativo al nivel del 0.05, lo que sugiere que hay diferencias significativas entre los grupos analizados. Los tratamientos tienen los mismos valores que el modelo, lo que refuerza la significancia del modelo.

El error tiene una suma de cuadrados (SC) de 1799.60 y 24 grados de libertad (gl), con un cuadrado medio (CM) de 74.98. El total tiene una suma de cuadrados (SC) de 7225.23 y 29 grados de libertad (gl). En resumen, el análisis de varianza indica que el modelo utilizado es adecuado para explicar las diferencias entre los grupos analizados, ya que el valor F es alto y el p-valor es muy bajo, lo que sugiere una alta significancia estadística.

Tabla 18. Test:Tukey para la Variable densidad de briquetas

Error: 74.9835 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6	244.62	5	3.87 A
3	244.21	5	3.87 A
2	238.11	5	3.87 A
5	233.14	5	3.87 B
1	219.21	5	3.87 C
4	207.95	5	3.87 C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Según las pruebas de Tukey que se presentan en la tabla 19, muestra que los tratamientos 6,

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

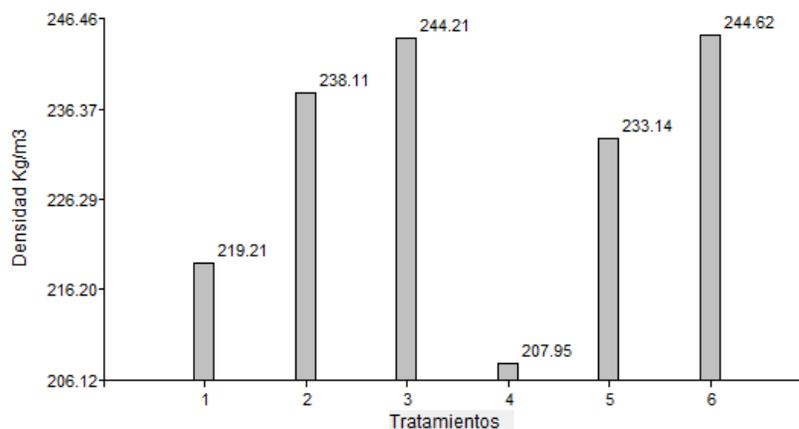
3 y 2 tienen medias de 244.62 kg/m^3 , 244.21 kg/m^3 y 238.11 kg/m^3 respectivamente, y pertenecen al grupo A, lo que indica que no son estadísticamente diferentes entre sí.

El tratamiento 5 tiene una media de 233.14 kg/m^3 y pertenece a los grupos B, lo que indica que es estadísticamente diferente de los tratamientos en el grupo A. El tratamiento 1 tiene una media de 219.21 kg/m^3 y pertenece a los grupos C, lo que muestra que es significativamente diferente de los tratamientos en el grupo A y B. El tratamiento 4 tiene la media más baja con 207.95 kg/m^3 y pertenece al grupo C, lo que revela que es significativamente diferente de los tratamientos en el grupo A y B. Los datos anteriores coinciden con algunos obtenidos por Huaman, Ramírez, Surichaqui (2021)

Los tratamientos en el grupo A tienen las medias más altas, consideradas con la mejor densidad. Los tratamientos en el grupo C tienen las medias más bajas y no son significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos en los grupos A, B y C muestran diferencias significativas.

En la figura 2, se visualiza que las briquetas que presentaron mayor densidad son de los tratamientos 3 y 6, seguidos del tratamiento 2. Esto significa que, en términos de media, son los mejores para poderlos transportar, almacenar y manipular, ya que al poseer una alta densidad ocupan menor volumen e igual peso (Huaman, Ramírez, Surichaqui, 2021)

Figura 2. Media de la densidad de las briquetas por tratamiento



Nota: Se muestran las briquetas que fueron elaboradas con 50% de pulpa de café más 50% de rastrojo de maíz, aglutinado con almidón de yuca en un 5%, por su parte el tratamiento 6, son briquetas elaboradas por 50% de pulpa de café más 50% de rastrojo de maíz, aglutinado con arcilla en un 5%. Es decir que la mejor se obtiene al combinar los dos materiales en partes iguales, sin importa el aglutinante.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8.5. Porcentaje de cenizas

En las siguientes tablas se detallan cada uno de los tratamientos en su peso seco, peso de las cenizas y el porcentaje obtenido de cada uno de los tratamientos y repeticiones.

Tabla 19. Porcentaje de cenizas del tratamiento 1, -100% pulpa de café, más almidón de yuca y colofonía.

Repeticiones	Peso seco del material (g)	Peso de ceniza (g)	(%) de ceniza
1	449	386.8	86.15
2	411.2	160.4	39.01
3	424.55	256.8	60.49
4	420.8	138.2	32.84
5	427.6	141.6	33.12
Promedio			50.32

Nota: Se muestra las briquetas correspondientes al tratamiento 1, que fueron elaboradas de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 100%, así también utilizando aglutinantes como el almidón de yuca en un 5%, y colofonía como iniciador en un 10%. El promedio de cenizas para el tratamiento número 1 es de 50.32 %, lo cual se considera alto.

Tabla 20. Porcentaje de cenizas del tratamiento 2, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía.

repeticiones	Peso seco de cenizas (g)	Peso de ceniza (g)	(%) de ceniza
1	452	141.3	31.26
2	446.2	137.1	30.73
3	438	96.2	21.96
4	429.75	127.6	29.69
5	416.5	98.9	23.75
Promedio			27.48

Nota: Se muestra las briquetas que representan el tratamiento 2, las cuales fueron elaboradas de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 75% más rastrojo de maíz en un 25%, así también utilizando aglutinantes como el almidón de yuca en un 5% y colofonía como iniciador en un 10%. El promedio de cenizas para el tratamiento número 2 es de 27.48 %, lo es más bajo cuando se utiliza briquetas elaborados con el 100% de pulpa.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024**Tabla 21. Porcentaje de ceniza del tratamiento 3, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía.**

Repeticiones	Peso seco de cenizas (g)	Peso de ceniza (g)	(%) de ceniza
1	455.4	107.3	23.56
2	446.8	110.2	24.66
3	441.2	96.5	21.87
4	443.8	114.7	25.84
5	425.7	84	19.73
Promedio			23.13

Nota: Se muestra las briquetas que corresponden al tratamiento 3, estas fueron elaboradas de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 50%, rastrojo de maíz en un 50%, así también utilizando aglutinantes como el almidón de yuca en una proporción del 5% y colofonía como iniciador en un 10%.

El promedio de cenizas para el tratamiento número 3 es de 23.13 %. Lo cual se mantiene un poco más bajo con la briqueta que contiene un 25% de rastrojo de maíz, todo indica que el rastrojo de maíz, tiene mejor combustión, por lo que genera menos cenizas.

Tabla 22. Porcentaje de ceniza del tratamiento 4, 100% pulpa de café, más arcilla y colofonía.

Repeticiones	Peso seco de cenizas (g)	Peso de ceniza (g)	(%) de ceniza
1	442.7	223.1	50.40
2	438.55	251	57.23
3	449.45	352.8	78.50
4	446	175.1	39.26
5	397.2	161.6	40.68
Promedio			53.21

Nota: Se muestra el tratamiento 4, para el cual se elaboraron briquetas de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 100%, se utilizó arcilla como aglutinantes en una proporción del 5% y colofonía como iniciador en un 10%. El promedio de cenizas para el tratamiento número 4 es de 53.21 g. lo que indica que la arcillas generan agregados, pero disminuyen levemente la combustión lo que se refleja en el aumento de las cenizas.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 23. Porcentaje de cenizas del tratamiento 5, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonía.

repeticiones	Peso seco de cenizas (g)	Peso de ceniza (g)	(%) de ceniza
1	453	186.6	41.19
2	436.25	172.8	39.61
3	456.6	181.9	39.84
4	459.1	189.2	41.21
5	410.7	157.4	38.32
Promedio			40.03

Nota: Se presentan las briquetas del tratamiento 5, fueron elaboradas de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 75%, rastrojo de maíz en un 25%, así también utilizando arcilla como aglutinantes en un 5%, y como iniciador se utilizó colofonía en un 10%. El promedio de cenizas para el tratamiento número 5 es de 40.03 %. Lo que se puede ver que las arcillas disminuyen la combustión de la briqueta.

Tabla 24. Porcentaje de cenizas del tratamiento 6, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, arcilla y colofonía.

repeticiones	Peso humedad (g)	peso seco (g)	Humedad (%)
1	452.35	162.8	35.99
2	444.1	120.5	27.13
3	446.55	140.7	31.51
4	455.05	164.7	36.19
5	412.9	116.6	28.24
Promedio			31.81

Nota: Se muestra el tratamiento 6, para el cual se elaboraron briquetas a partir de desechos agrícolas como la pulpa de café en un 50%, rastrojo de maíz en un 50%, así también utilizando aglutinantes como la arcilla en un 5%, y como iniciador se utilizó colofonía en un 10%. El promedio de cenizas para el tratamiento número 6 es de 31.81 %, siendo superior cuando se utilizó como aglutinante el almidón de yuca.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

A continuación, se presentan datos estadísticos de los diferentes tratamientos y repeticiones, respecto a los porcentajes de cenizas.

Tabla 25. Análisis de la varianza para las variables % de cenizas

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
(%) de cenizas	30	0.53	0.44	31.16

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	3784.12	5	756.82	5.49	0.0016
Tratamientos	3784.12	5	756.82	5.49	0.0016
Error	3306.17	24	137.76		
Total	7090.29	29			

Nota: Se muestra el modelo estadístico, el cual tiene una suma de cuadrados (SC) de 3784.12, con 5 grados de libertad (gl) y un cuadrado medio (CM) de 756.82. El valor F es 5.49 y el p-valor es 0.0016. Esto indica que existen diferencias estadísticamente para la variable porcentaje de cenizas, para un 95% de confiabilidad.

Los tratamientos tienen los mismos valores que el modelo, lo que refuerza la significancia del modelo. El error tiene una suma de cuadrados (SC) de 3306.17 y 24 grados de libertad (gl), con un cuadrado medio (CM) de 137.76.

El total tiene una suma de cuadrados (SC) de 7090.29 y 29 grados de libertad (gl), esto indica que el modelo utilizado es adecuado para explicar las diferencias entre los grupos analizados, ya que el valor F es alto y el p-valor es muy bajo, lo que sugiere una alta significancia estadística, por lo que se procedió hacer la prueba múltiple de Tukey.

Tabla 26. Test: Tukey para la variable % de cenizas

Error: 137.7572 gl: 24

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
4	53.21	5	5.25 A
1	50.32	5	5.25 A
5	40.03	5	5.25 B
6	31.81	5	5.25 C
2	27.48	5	5.25 C
3	23.13	5	5.25 C

Nota: Se muestran las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

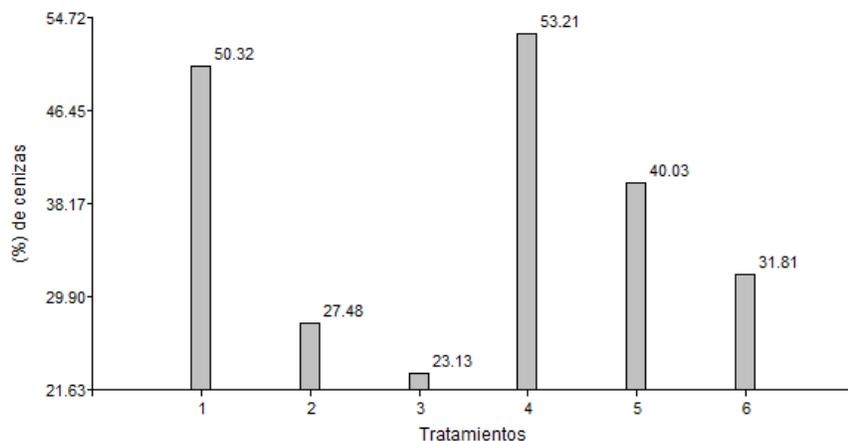
De acuerdo a la prueba de medias presentadas en la tabla 27, el tratamiento 4 tiene una media de 53.21 y pertenece al grupo A, lo que indica que no es significativamente diferente del tratamiento 1.

Los tratamientos 5 y 6 tienen medias de 40.03% y 31.81% respectivamente, y pertenecen a los grupos B y C respectivamente, lo que indica que son estadísticamente diferentes.

El tratamiento 6, 3 y 2 tiene una medias por debajo de 31.81% pertenece a los grupos C, lo que indica que no tiene la mejor combustión, ya que al momento cuando se termina la llama de fuego indicando la finalización de la combustión quedan menos cenizas, indicado que la composición de la briqueta se quema en entre el 70 al 77 % en este grupo de briquetas que las componen briquetas elaboradas con el 50% de pulpa de café y 50% de rastrojos de maíz aglutinadas con arcillas para el caso del tratamiento 6 y la mejor del grupo C, fue la briqueta elaborada con 50% de pulpa de café más 50% de rastrojos de maíz con un aglutinante de almidón de yuca en un 5%, todo indica que los rastrojos de maíz, tienen mejor combustión.

En la siguiente gráfica que se presenta en barras, los porcentajes de cenizas, en cada tratamiento, indican que el tratamiento número tres presenta mejores características en cuanto a su combustión con un 23.13 % de cenizas. De acuerdo a lo expuesto por Vera (2017), se concluye que este porcentaje aún está por arriba del 15%, por lo que las briquetas no presentan una buena combustión.

Figura 3. Contenido de cenizas de las briquetas.



Nota: Se presenta el tratamiento número 4 con un 53.21 % de cenizas y el tratamiento número 1 con un 50.32 % de cenizas, siendo los mayores valores. Los tratamientos 5 y 6 presentan 40.03 % y 31.81 % de cenizas respectivamente. Se observa que el tratamiento 2 y 3 presentan mejores características en porcentajes de cenizas indicando 27.48% y 23.13%, respectivamente, indicando que las briquetas tienen mejor combustión cuando se mezcla en



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

un 50% con rastrojos de maíz, y las briquetas elaboradas a partir del 100% de pulpa de café con arcillas, tiene menor tasa de combustión, dejando mayor cantidad de cenizas.

8.6. Tiempo de combustión

Tabla 27. Combustión del tratamiento 1, 100% pulpa de café, más almidón de yuca y colofonía. (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repetición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	24.45	31
2	15	32.5	
3	30	65	
4	40	0	
5	Fin	65	
1	1	27.2	40
2	15	57.2	
3	30	89.5	
4	40	90.3	
5	Fin	90.3	
1	1	21.7	20
2	15	47.4	
3	30	0	
4	40	0	
5	Fin	66.4	
1	1	20.5	40
2	15	45.4	
3	30	70.4	
4	40	74.7	
5	Fin	74.7	
1	1	27.4	48.31
2	15	57.5	
3	30	60.3	
4	40	72.2	
5	Fin	78.3	

Promedio

35.86



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Nota: Se presenta el tratamiento 1, para el cual se utilizó briquetas de 454 g de pulpa de café, siendo equivalente al 100 % del material, utilizando mezclas como el 5 % de almidón de yuca como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 35.86 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados en 5 litros de agua utilizado para la prueba, en una olla de aluminio con una capacidad de 5 litros, un diámetro de 24 cm, 11 cm de alto y con tapadera. Se tomó el tiempo de 1, 15, 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión, cuando se agotó la llama o fuego.

Tabla 28. Combustión del tratamiento 2, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía. (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repetición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	26.3	43
2	15	37.8	
3	30	67.5	
4	40	82	
5	fin	83.6	
1	1	26.5	54.1
2	15	39.1	
3	30	74.3	
4	40	75.1	
5	fin	88	
1	1	26.1	61.16
2	15	69.2	
3	30	68.5	
4	40	85.4	
5	fin	93.5	
1	1	19.8	51.00
2	15	55.5	
3	30	85.3	
4	40	85.3	
5	fin	81.6	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Combustión del tratamiento 2, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía. (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

1	1	25.2	52.40
2	15	38.6	
3	30	72.8	
4	40	76.5	
5	fin	83.6	

Promedio

52.25

Nota: Se presenta el material que se utilizó para las briquetas es de 340.5 g de pulpa de café, que equivale a un 75 %, más 113.5 g de rastrojo de maíz que equivale a un 25 %, utilizando mezclas del 5 % de almidón de yuca como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 52.25 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados en 5 litros de agua, en una olla con tapadera, se tomó el tiempo de 1, 15 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión, observando una tendencia del aumento del tiempo de combustión cuando se agrega un porcentaje de rastrojo de maíz.

Tabla 29 Combustión del tratamiento 3, -50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repeticición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	21.55	50.6
2	15	49.1	
3	30	74.6	
4	40	92.7	
5	fin	81.5	
1	1	21.5	64.00
2	15	43	
3	30	71.3	
4	40	87.3	
5	fin	93.5	
1	1	21.6	53.46
2	15	71.2	
3	30	86.4	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Combustión del tratamiento 3, -50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más almidón de yuca y colofonía (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

4	40	93.6	
5	fin	92.6	
1	1	20.8	44.00
2	15	61.5	
3	30	81.3	
4	40	86	
5	fin	86.4	
1	1	20.2	54.30
2	15	40.2	
3	30	65.2	
4	40	68.9	
5	fin	76.1	
Promedio			53.27

Nota: Se presenta el material que se utilizó para las briquetas del tratamiento 3, la cantidad utilizada fue de 227 g de pulpa de café, que equivale a un 50 %, más 227 g de rastrojo de maíz que equivale a un 50 %, utilizando mezclas del 5 % de almidón de yuca como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 52.25 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados en una olla de aluminio con una capacidad de 5 litros, un diámetro de 24 cm, 11 cm de alto y con tapadera se tomó el tiempo de 1, 15, 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión.

Lo anterior indica que al agregar en un 50% de rastrojo de maíz, a la composición de la briqueta, aumenta el tiempo de combustión, es decir se mantiene por más tiempo la llama de fuego, lo que permite mejor combustión ya que genera menos cenizas. Este indicador químico es importante, puesto que tiene un alto valor de importancia al momento de cocinar los alimentos, ya que a más tiempo se mantiene una llama de fuego, mayor oportunidad en la cocción de alimentos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. Combustión del tratamiento 4, 100% pulpa de café, más arcilla y colofonía. (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repetición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	20.34	25.50
2	15	58.4	
3	30	0	
4	40	0	
5	fin	81	
1	1	20.8	28
2	15	42.2	
3	30	0	
4	40	0	
5	fin	59.5	
1	1	20.6	35.19
2	15	57.2	
3	30	81.1	
4	40	0	
5	fin	90.7	
1	1	19.3	42
2	15	46.5	
3	30	76.9	
4	40	82.5	
5	fin	82.2	
1	1	20.9	42.12
2	15	44.2	
3	30	69.2	
4	40	0	
5	fin	70.3	

Promedio

34.56

Nota: En el tratamiento 4, El material que se utilizaron para las briquetas es de 450 g de pulpa de café, siendo equivalente al 100 % del material, utilizando mezclas como el 5 % de arcilla como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 34.56 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados, en una olla de aluminio con una capacidad de 5 litros, un diámetro de 24 cm, 11



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

cm de alto y con tapadera, se tomó el tiempo de 1, 15, 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión. Lo anterior indica que la pulpa de café tiene menor tiempo de combustión, pero a la vez genera más cenizas, en ese sentido al usar por si sola la briqueta de 100% de pulpa de café, brindaría menos tiempo de llama de fuego para la cocción de alimentos, pero además producirá más cenizas.

Tabla 31. Combustión del tratamiento 5, 75 % pulpa de café + 25 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonía. (Tiempo de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repetición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	26.5	39.48
2	15	71.2	
3	30	84.6	
4	40	0	
5	fin	84.1	
1	1	19.2	52
2	15	44.6	
3	30	63.1	
4	40	83.8	
5	fin	91.1	
1	1	24.4	49
2	15	50.2	
3	30	87.3	
4	40	84.3	
5	fin	79.5	
1	1	22.2	43.12
2	15	50.9	
3	30	90.6	
4	40	87.5	
5	fin	87	
1	1	18.2	42
2	15	42.6	
3	30	60.2	
4	40	70.5	
5	fin	76.5	
Promedio			45.12



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Nota: Se presenta el tratamiento 5, para el cual se elaboraron briquetas de 340.5 g de pulpa de café, que equivale a un 75 %, más 113.5 g de rastrojo de maíz que equivale a un 25 %, utilizando mezclas del 5 % de arcilla como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 45.12 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados, en una olla de aluminio con una capacidad de 5 litros, un diámetro de 24 cm, 11 cm de alto y con tapadera, se tomó el tiempo de 1, 15, 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión.

La tendencia es clara, cuando se refleja que al aumentar en la composición de la briketa rastrojos de maíz, se aumenta el tiempo de combustión, lo que genera mejor característica a la briketa, por la capacidad que tienen en aumentar mayor tiempo la llama de fuego.

Tabla 32. Combustión del tratamiento 6, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonía (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

Repetición	Tiempo (min)	Temperatura (°C) del agua	Tiempo de combustión (min)
1	1	23.9	36.12
2	15	64.2	
3	30	93.1	
4	40	0	
5	fin	84.7	
1	1	27.9	47
2	15	40.2	
3	30	73.8	
4	40	86.7	
5	fin	85.3	
1	1	21.3	45
2	15	45.1	
3	30	70.8	
4	40	81	
5	fin	79.7	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Combustión del tratamiento 6, 50 % pulpa de café + 50 % de rastrojo de maíz, más arcilla y colofonía (Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua)

1	1	21.3	43.5
2	15	48.4	
3	30	78.8	
4	40	90.4	
5	fin	83.4	
1	1	26.3	33.26
2	15	39.2	
3	30	59.9	
4	40	70.1	
5	fin	75.3	
Promedio			40.98

Nota: Se presenta el material utilizado para las briquetas del tratamiento 5, los cuales fueron de 227 g de pulpa de café, que equivale a un 50 %, más 227 g de rastrojo de maíz que equivale a un 50 %, utilizando mezclas del 5 % de arcilla como aglutinante, y 10 % de colofonía como iniciador, se realizaron 5 repeticiones y el promedio que se tiene para el tiempo de combustión para un kilogramo de briquetas para este tratamiento es de 40.98 minutos, destacando de esta manera temperaturas en grados centígrados en 5 litros de agua, en una olla con tapadera, se tomó el tiempo de 1, 15, 30, 40 minutos y tiempo final donde se determina el fin de combustión.

Tabla 33. Análisis de la varianza para el tiempo de combustión

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tiempo de combustión (min)..	30	0.66	0.50	16.22

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1930.05	9	214.45	4.27	0.0033
Proporciones	1602.54	5	320.51	6.38	0.0011
Aglutinante (g)	0.00	0	0.00	sd	sd
Repetición	327.51	4	81.88	1.63	0.2056
Error	1004.07				



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	1602.54	5	320.51	5.78	0.0012
Tratamientos	1602.54	5	320.51	5.78	0.0012
Error	1331.58	24	55.48		
Total	2934.12	29			

Nota: Se muestra que el análisis de varianza tiene una suma de cuadrados (SC) de 2934.12 y 29 grados de libertad (gl). Indica que el modelo utilizado es adecuado para explicar las diferencias entre los grupos analizados, ya que el valor F es alto y el p-valor es muy bajo, lo que sugiere una alta significancia estadística.

Tabla 34. Prueba Tukey Alfa para los tiempos de combustión

Error: 50.2034 gl: 20

<u>Proporciones</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
4	34.56	5	3.25 A
1	35.86	5	3.25 A
6	40.98	5	3.25 B
5	45.12	5	3.25 B
2	52.33	5	3.25 B
3	53.27	5	3.25 B

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Error: 50.2034 gl: 20

<u>Aglutinante (g)</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Arcilla	40.22	15	1.88 A
Yuca	47.16	15	1.88 B

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Error: 50.2034 gl: 20

<u>Repetición</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
1	37.62	6	2.97 A
4	43.94	6	2.97 A
3	43.97	6	2.97 A
5	45.40	6	2.97 A
2	47.52	6	2.97 A

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El análisis muestra los resultados de una prueba de Tukey, que se utiliza para realizar comparaciones múltiples entre medias después de un análisis de varianza.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los tratamientos 3 y 2 tienen medias de 53.27 y 52.33 respectivamente, y pertenecen al grupo B, lo que indica que no son significativamente diferentes entre sí. Por otro lado, los tratamientos 5 y 6 a pesar que tienen medias de 45.12 y 40.98 respectivamente, pertenecen también al grupo B.

Los tratamientos 1 y 4 tienen medias de 35.86 y 34.56 respectivamente, y pertenecen al grupo A, lo que indica que no son significativamente diferentes entre sí.

Los tratamientos en el grupo B tienen las medias más altas y no son significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos en el grupo A tienen las medias más bajas.

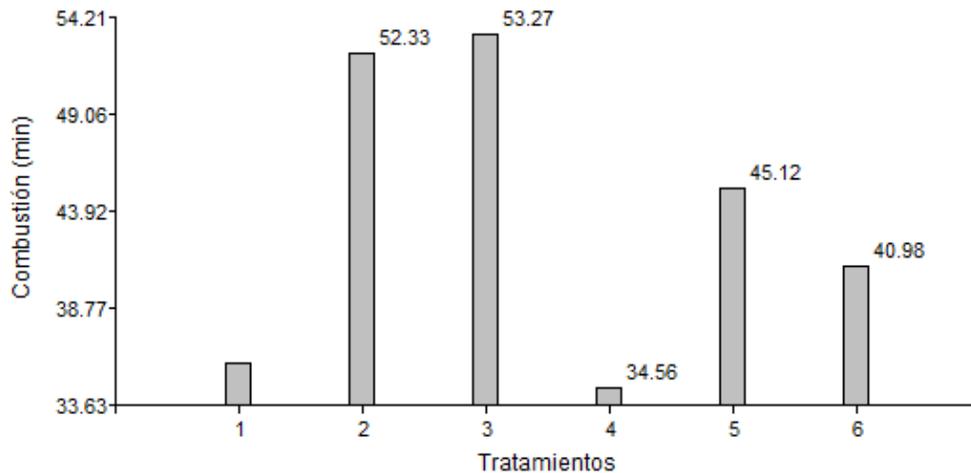
Todo lo anterior indica que al mezclar rastrojos de maíz a la briqueta, ya sea una proporción del 25 o del 50%, eleva estadísticamente significativa los tiempos de combustión, siendo esto una característica importante al momento de cocinar alimentos puesto que esto se refleja en el mayor tiempo que tiene la briqueta en mantener la llama de fuego, la discusión se complementa al analizar los agregados, que indican que el almidón de yuca contribuye estadísticamente significativa en mantener por más tiempo la llama de fuego al compararlo con la arcilla, esto a pesar de solo agregarlo en una proporción de 5%, lo cual puede aumentar el tiempo de combustión por 7 minutos más.

La figura 4 de barras muestra el tiempo de combustión de una briqueta en 5 litros de agua para diferentes tratamientos. Los tratamientos 2 y 3 destacan por tener los mayores tiempos de combustión. El tratamiento 2 tiene un tiempo de combustión de 52.33 minutos, lo que indica una eficiencia considerable. Sin embargo, el tratamiento 3 supera ligeramente al tratamiento 2 con un tiempo de combustión de 53.24 minutos, siendo el más alto entre todos los tratamientos. Estos resultados sugieren que los tratamientos 2 y 3 son los más efectivos en términos de duración de la combustión, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones que requieren tiempos de combustión prolongados, como es el caso de la cocción de alimentos.

Por otro lado al usar arcilla y almidón de yuca como aglutinante, estadísticamente tiene mejores efecto el uso de almidón de yuca, respecto al aumento del tiempo de combustión, generando un aumento de 7 minutos con llama de fuego más al compararlo con la arcilla.

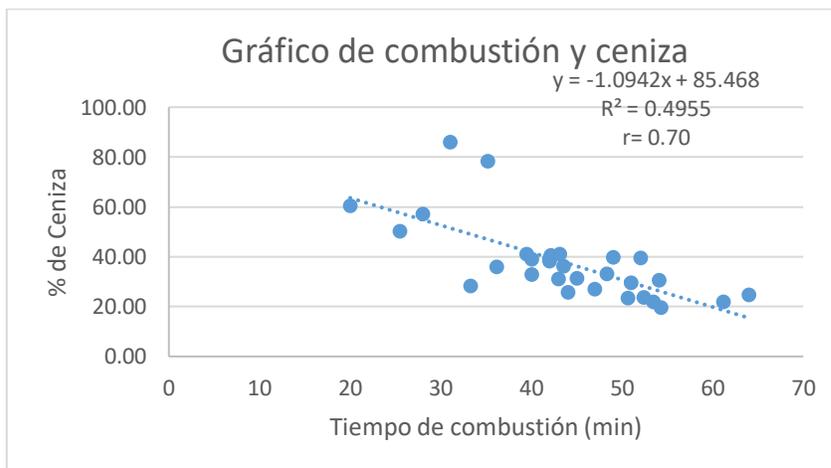
Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 4 Tiempos de combustión de 1 kg de briquetas en 5 litros de agua.



Nota. Se muestra los resultados de los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6, en relación a tiempos de combustión con un kilogramo de briqueta, para el calentamiento de 5 litros de agua.

Figura 5. Correlación de tiempo de combustión (min) vs. % de ceniza.



Nota: Se muestra en el grafico de combustión y ceniza un diagrama de dispersión con línea de tendencia lineal, donde se representa la relación entre el tiempo de combustión (min) y el porcentaje de ceniza (%) producido por las briquetas elaboradas con diferentes combinaciones de pulpa de café, rastrojo de maíz y dos tipos de aglutinantes (almidón de yuca y arcilla al 5%).

Eje X: Tiempo de combustión (minutos).

Eje Y: Porcentaje de ceniza (%).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La tendencia observada es negativa, lo cual se refleja en la ecuación de la recta de regresión lineal:
 $y = -1.0942x + 85.468$

Esto indica que, por cada minuto adicional de combustión, el porcentaje de ceniza disminuye en aproximadamente 1.09%.

El coeficiente de determinación asociado a esta regresión es $R^2 = 0.4955$, al transformarlo al coeficiente de correlación de Pearson da $r = 0.7039$, indicando una alta correlación entre el tiempo de combustión y el porcentaje de cenizas.

La pendiente negativa de la ecuación de regresión evidencia una relación inversa entre el tiempo de combustión y la cantidad de ceniza generada. En términos prácticos, este comportamiento sugiere que las briquetas con mayor eficiencia de combustión (es decir, aquellas que mantienen una combustión más prolongada) tienden a producir una menor cantidad de residuos sólidos. Esta relación puede estar asociada a una combustión más completa de los materiales orgánicos presentes en las briquetas.

La dispersión observada en los puntos del gráfico en relación con la línea de tendencia respalda esta conclusión, mostrando variabilidad entre los distintos tratamientos. Esto es esperable en estudios experimentales con materiales de origen orgánico y estructuras físicas heterogéneas, como es el caso de los desechos agrícolas utilizados.

En conjunto, los resultados confirman que el tiempo de combustión es un parámetro relevante en la evaluación del rendimiento de las briquetas, pero que debe ser interpretado en conjunto con otros factores físico-químicos para una comprensión integral de su comportamiento durante la combustión.

8.7. Poder Calorífico de los tratamientos

Los materiales que se utilizaron en la elaboración de briquetas son de pulpa de café, rastrojo de maíz, utilizando aglutinantes como almidón de yuca, y arcilla, y como iniciador se utilizó 5 % de colofonia, con estos materiales se puede determinar el poder calorífico.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

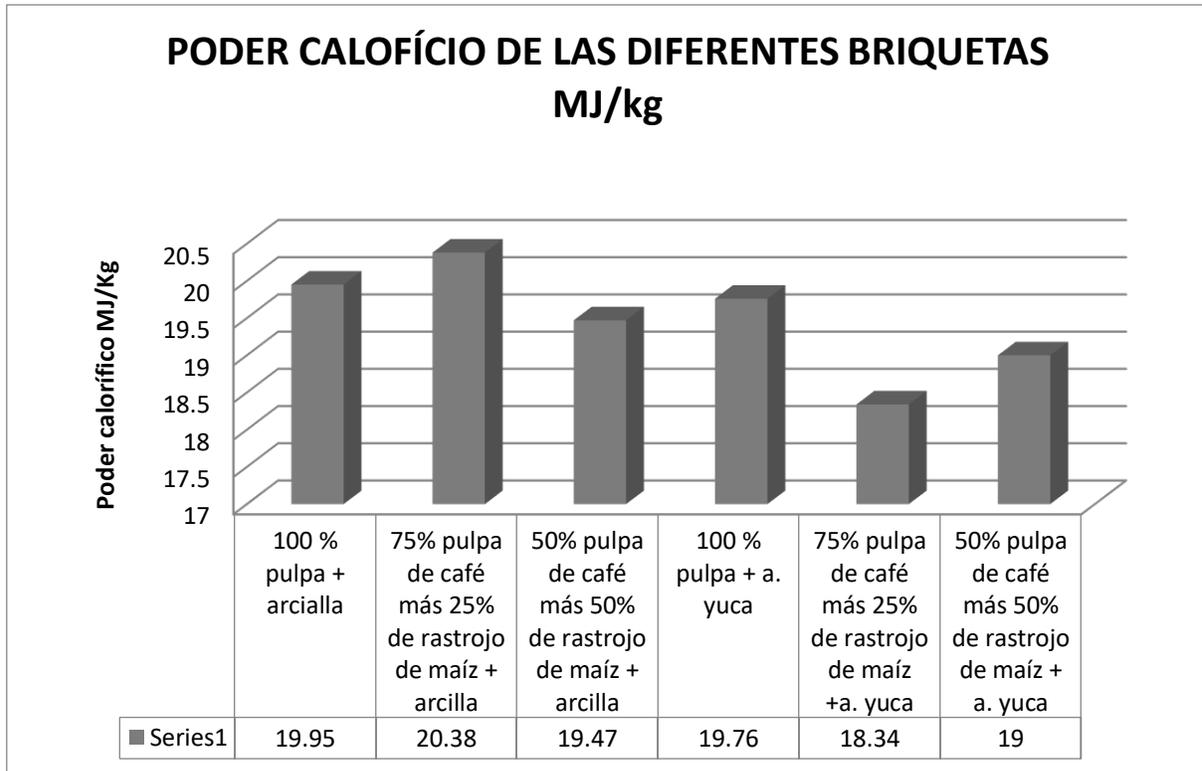
Tabla 35. Poder calorífico por tratamiento, expresado en MJ/kg

Tratamiento	Material	Almidón	Colofonia	Método de análisis	Poder calorífico MJ/Kg
1	100 % pulpa	yuca 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	19.95
2	75% pulpa + 25 % rastrojo	yuca 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	20.38
3	50% pulpa + 50% rastrojo	yuca 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	19.47
4	100 % pulpa	arcilla 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	19.76
5	75% pulpa + 25 % rastrojo	arcilla 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	18.34
6	50% pulpa + 50% rastrojo	arcilla 22.7 gr. 5%	45.4 gr 10%	ASTM D-240	19

Nota: Se muestra el comportamiento del poder calorífico de los desechos orgánicos que fueron evaluados por parte del Ministerio de Energía y Minas (Guatemala)

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 6. Poder calorífico MJ/kg, de las briquetas.



Nota: El tratamiento 2 posee un poder calorífico de 20.38 MJ/Kg, seguidamente del tratamiento 1, con un poder calorífico de 19.95 MJ/kg. El tratamiento 4 tiene un poder calorífico de 19.76 MJ/kg, el tratamiento 3 cuenta con un poder calorífico de 19.47, seguidamente del tratamiento 6 que cuenta con un poder calorífico de 19 MJ/kg y por último se cuenta con el tratamiento 5 con un poder calorífico de 18.34 MJ/kg.

En ese sentido la briketa realizada mediante el 75% de pulpa de café con el 25% de rastrojo de maíz, utilizando como aglomerante el 5% de almidón de yuca y el 10% de colofonía como iniciador, poseen mejor rendimiento calorífico, siendo de 20.30 MJ/kg.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8.8. Emisión de CO

Tabla 36. Emisión de Monóxido de Carbono en partes por millón –CO PPM- y los microgramos de material particulado por metro cúbico de aire –PM estimate-

No.	Tratamiento	Minutos de combustión	CO PPM	PM Estimate
1	100 pulpa, almidón de yuca, colofonia	35:24.7	38.513889	39317.6002
2	75% pulpa de café + 25 % rastrojo de maíz, almidón de yuca, colofonia	32:22.46	69.760101	51941.6538
3	50 % pulpa de café + 50% rastrojo de maíz, almidón de yuca, colofonia	33:41.38	72.473039	49003.3744
4	50% de pulpa de café, 50 % de rastrojo de maíz, arcilla, colofonia	32:57.3	68.735294	36055.5134
5	75% pulpa de café + 25 % rastrojo de maíz, arcilla, colofonia	30:23.81	67.637097	49393.3253
6	100 % pulpa de café, arcilla, colofonia	30:25.97	48.548387	47547.9886

Nota: Las briquetas elaboradas a partir del 100% de pulpa de café poseen una menor producción de monóxido de carbono, lo cual es importante y beneficioso para la persona que cocina los alimentos como para el ambiente, sin embargo, las concentraciones identificadas se encuentran en los rangos permitidos. Esto indica que las briquetas elaboradas con 100% de pulpa de café, generan más cenizas es decir su combustión no es completa, tiene menor tiempo de combustión, pero es más beneficioso para la salud humana y para el ambiente.

Al hablar de los microgramos de material particulado por metro cúbico de aire –PM estimate- el tratamiento elaborados con el 100% de pulpa de café, almidón de yuca en un 5% y colofonia como iniciador en un 10%, la producción de materia particulado fue de 39317.6002 por metro cúbico, siendo el mejor tratamiento con menor producción de particulado, la briqueta elaborado con el 50% de pulpa de café + 50% de rastrojo de maíz, arcilla como agregado en un 5% y como iniciador la colofonia en un 10%, siendo los datos de 36,055.51 partículas suspendidas por metro cúbico de aire.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8.9. Validación social de las briquetas.

El proceso de validación consistió en el desarrollo de dos grupos focales, tales como se menciona en la metodología, uno desarrollado en el área urbana del municipio de Jacaltenango, Huehuetenango y otro en el área rural de Santa Bárbara Huehuetenango, en ambos lugares se tuvo el cuidado de llenar dos ollas del mismo material con 5 litros de agua y para una se utilizó 5 libras de leña que se usa en la localidad, siendo estas, ciprés (*Cupressus lusitanica*), la madera de este árbol es aromática, semi-dura, ligera, con un poder calorífico de 21.44 kj/kg y chalum (*Inga micheliana Harms*), leña posee un conjunto de atributos variables que le confieren mayor o menor calidad como combustible, expresada como energía útil en el uso final de la leña y tiene un poder calorífico de 33 kj/kg, y en otro lado 5 libras de briquetas, para que se fuera comparando el encendido, el punto de ebullición, la emisión de humo y al final se desarrolló, la guía de preguntas, que se adjuntan en el apéndice 1.

Al hablar del perfil de las participantes, para Jacaltenango el perfil fue amas de casa mujeres y con ciertos pequeños emprendimientos, del grupo étnico Poptí, en su mayoría, dedicados no al 100% del cuidado de la familias, por poseer fuentes de ingreso que nos les permite esa dedicación completa al hogar y el segundo grupo focal se desarrolló en el área rural del municipio de Santa Bárbara Huehuetenango, grupo de mujeres amas de casa campesinas del grupo étnico Mam, con actividades productivas agropecuaria, dedicadas a mantener la seguridad alimentaria en el hogar. Los Grupos focales fueron facilitados por la Licenciada en Trabajo Social Mariela Tello, quien fungió en como asistente de investigación en proyecto.

Para el grupo étnico Poptí, las briquetas les pareció una idea fácil de replicar y emprender, algunas personas han considerado la briquetas con beneficios ecológicos pues han considerado que puede reducir la tala de árboles y que en los meses de invierno han considerado que la leña es escasa, de tal manera que las briquetas tienen para este perfil de mujeres, alta aceptación, de fácil manejo para colocarlo en el fogón y fácil encendido, no se considera a la briqueta como un sustituto total de la leña que se utiliza en la zona, sino más bien un complemento, puesto que ha considerado que puede reducir la demanda de leña que existe en la zona urbana y periurbana del municipio, la emisión de humo no fue un inconveniente fuerte y el olor del humo de la briqueta les pareció al de la leña. Algunas recomendaciones brindadas al equipo de investigación del proyecto fue el poder tener la posibilidad de disminuirle la emisión del humo, sin embargo, la emisión del humo, no se considera una limitante para su uso, pues no fue en exceso de acuerdo a su punto de vista de las mujeres participantes. Por otro lado, recomendaron ponerle un precio accesible, para poderla comprar y que fuera menor a los precios locales, además recomendaron que se pueda



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

difundir su fabricación para emprendimiento locales, ya que en el área se considera que se desperdicia la pulpa de café y es fuente de malos olores y proliferación de mosquitos, siendo discordia en algunos casos entre los vecinos.

Para el grupo focal de la etnia Mam, el desarrollo de las briqueta no fue llamativo, pues consideran tener suficiente leña en la zona, más bien consideran que la solución podría ser la siembra de árboles para tener siempre fuentes energéticas para el cocimiento de los alimentos, lo anterior a pesar de tener pulpa de café, al indagar un poco más con los participantes y que poseen parcelas con plantas de café, la pulpa que se genera, se utiliza para abonera y luego la incorporan al café como abono, no hubo el interés como de conocer un poco más de su fabricación, se notó que las mujeres del área rural, se encuentran con muchas tareas del hogar y también apoyan al esposo en las labores del campo, puesto que la fabricación de briquetas se puede ver como una tareas más del hogar para ellas, que en este momento no es necesario realizarlo por el hecho que se tiene reservas de leña, provenientes del bosque o de la misma poda del café que se realiza.

Para ambos grupos focales los tiempos para hervir 5 litros de agua y durabilidad de las briquetas con fuego fueron similar y en el caso de Jacaltenango fueron mejores con respecto a la leña utilizada en la prueba.

La validación social, han permitido destacar que en hogares del área rural, será difícil la recomendación para el uso de briquetas, principalmente en donde aún se considera tener reservas de fuentes energéticas o leña para el uso en el hogar, puesto que el uso de briquetas puede representar un trabajo extra para las mujeres, que desde ya tienen abundantes tareas del hogar, sin embargo para zonas periurbanas y urbanas, el interés aumenta para su uso y para conocer mejor el proceso de fabricación para una posibilidad de emprendimiento.

Algo que no estaba planteado en la metodología, pero se realizó en el municipio de Jacaltenango, fue tener un grupo focal realizado con técnicos y directivos de la Cooperativa Río Azul, que se dedica a la producción y comercialización de café en la zona, durante el grupo focal, se mencionó que cada año la cooperativa genera 800 quintales de pulpa de café, lo que la idea de la briqueta generó alta expectativa para su fabricación y beneficios económicos que puede representar la para la organización como para los asociados. La briqueta les pareció una idea importante, ya que al año reciben auditorías ambientales, en donde las montañas de pulpa de café los demeritan ante los entes y siempre les remarcan poder identificar un mejor uso de la pulpa. En ese sentido, la briqueta les pareció una buena opción debido a que presentó tiempos de ebullición similares a los de la leña, sin embargo, la producción de humo fue considerado un inconveniente, pero no una limitante.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8.10. Análisis económico

Tabla 37. Costos de producción para el mejor tratamiento.

COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA EL MEJOR TRATAMIENTO				
CALCULO DE PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS				
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE NOROCCIDENTE				
CONCEPTO	UNIDAD MEDIDA	Valor	Jornales	MONTO
Transporte de los materiales	Jornal	Q118.14	3	Q354.42
Elaboración de briquetas	Jornal	Q118.14	20	Q2,362.80
Secado	Jornal	Q118.14	10	Q1,181.40
				Q3,898.62
2. INSUMOS / MATERIALES				
Rastrojo de maíz	Lb	Q0.33	250	Q82.50
Pulpa de café	Lb	Q1.00	500	Q500.00
Costales	Unidad	Q5.00	47	Q235.00
Resina	Lb	Q25.00	98	Q2,450.00
Yuca	caja	Q18.65	57	Q1,058.39
Gasolina	Galon	Q30.00	6	Q180.00
				Q4,505.89
3. EQUIPO				
Prensa hidraulica	Unidad	Q8,500.00	1	Q8,500.00
Estufa	Unidad	Q75.00	1	Q75.00
Balanza	Unidad	Q125.00	1	Q125.00
Hoya	Unidad	Q35.00	1	Q35.00
Recipiente plastico	Unidad	Q25.00	1	Q25.00
Molde	Unidad	Q380.00	1	Q380.00
Picadora	Unidad	Q6,500.00	1	Q6,500.00
Parighuela	Unidad	Q300.00	2	Q600.00
Pistola de calor	Unidad	Q350.00	1	Q350.00
				Q16,590.00
3. OTROS GASTOS				
Transporte	Unidad	Q150.00	3	Q450.00
Electricidad	unidad	Q50.00	1	Q50.00
				Q500.00
4. TOTAL				
Costos fijos				Q16,590.00
Costos variables				Q8,904.51
Costos totales				Q25,494.51
Costo total ponderado para la fabricación de 1,000 briquetas				

Nota: Se presentan el costo total ponderado para la fabricación de 1,000 briquetas



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 38. Costos de producción para el mejor tratamiento.

Utilidad=	4,505.4925
Rentabilidad=	17.67240454
Costo unitario=	25.4945075
Punto equilibrio valores=	23592.71773
Punto de equilibrio unitario=	786.4239244
Beneficio/costo=	1.176724045

Nota: Se muestra el costo de producción del tratamiento número 2, compuesto por un 75% de pulpa de café y un 25% de rastrojo de maíz, con la adición de 5% de almidón de yuca y 10% de colofonía. Los costos corresponden a la producción de 1,000 briquetas. Los datos tabulados fueron obtenidos de la Tabla 38.

Las briquetas fueron elaboradas con una prensa hidráulica semi industrial con un costo de Q8,500.00 y una picadora de Q6,500.00 las cuales se compraron para el proyecto, con esta prensa se necesitan dos personas para fabricar una briqueta, ya que una persona debe accionar la palanca hidráulica y el otro recibir la briqueta, lo que hace un tiempo de 15 minutos para la fabricación de una sola briqueta, tomando en cuenta que el día laboral consta de 8 horas, se fabricarían un total de 32 briquetas por día con un total de dos jornales. Aunado a esto se debe aclarar que los materiales utilizados como la pulpa de café y rastrojo de maíz fueron comprados, así como también se construyó una parihuela, que sirvió como el área de secado de los rastrojos y de la pulpa de café, con un precio de Q300.00

Los costos mencionados anteriormente, son los principales y otros más, se describen en la gráfica No.5 donde se presentan los costos de producción para 1,000 briquetas, bajo las condiciones descritas. Se puede observar que el costo por briqueta es de Q25.00 quetzales; Sin embargo, el proyecto está dirigido a personas que ya cuentan con residuos agroindustriales y que se encuentran subutilizados, por lo que ellos no comprarían la materia prima, además, la fabricación de la briqueta se puede hacer de forma artesanal, eliminando los costos de la picadora y la prensa hidráulica. Bajo ese criterio, se estimaría principalmente la mano de obra como costo de producción, siendo así la libra de briquetas tendrían un costo unitario de Q3.89 equivalente a aproximadamente a 2 leños aproximadamente.

Tomando en cuenta el costo inicial de la briqueta, este proyecto puede seguir explorando la viabilidad financiera, pero se recomienda dirigir los esfuerzos para una organización de productores de café, tal es el caso de la Cooperativa Río Azul en Jacaltenango que cuenta con la logística, el capital y la mano de obra para iniciar un emprendimiento y de acuerdo al grupo focal realizado en el municipio, tendría una demanda del producto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

9. Análisis y discusión

Las briquetas elaboradas con 100% pulpa de café y almidón de yuca como aglutinante presentaron mayor resistencia a la fragmentación, con un índice de rotura al quinto lanzamiento, caso contrario ocurre cuando se mezcló la pulpa de café con rastrojo de maíz, la resistencia a la fragmentación disminuyó. Esto es debido a que la pulpa de café contiene proteínas que pueden actuar como aglutinantes naturales, (Fierro, Contreras, González, Rosas, Morales, Ramos, 2018). Así mismo, fue uno de los tratamientos que presento mayor contenido de humedad, al igual que el tratamiento 4 como se puede observar en la gráfica 1, esto se debe a que la pulpa de café retiene más humedad, por la fibra que posee y también al alto contenido de materia orgánica, catalogándose, que de acuerdo a Huaman, Ramírez, Surichaqui (2021), se encuentran en el rango aceptable de 15-20%.

De acuerdo a (Fierro, Contreras, González, Rosas, Morales, Ramos, 2018), se ha encontrado relación inversa entre cenizas y poder calorífico, en ese sentido los mejores tratamientos identificados con menor contenido de cenizas son los tratamientos 2 y 3 siendo los valores de 27.48% y 23.13% respectivamente, manifestando poderes caloríficos altos, tales como 20.38 MJ/kg y 19.47 MJ/kg., estas briquetas están elaboradas con un 75% de pulpa de café y un 25% de rastrojo de maíz, y el tratamiento 3 está elaborado con un 50% de pulpa de café y un 50% de rastrojo de maíz, ambas con un 5% de aglutinante de almidón de yuca y colofonia en un 10% como iniciador.

Por lo contrario, los tratamientos con menor poder calorífico son 5 y 6 con valores de 18.34 MJ/kg y 19 MJ/kg también presentaron el porcentaje de ceniza más alto con valores de 53.21% y 53.21%. los datos encontrados están en concordancia con la literatura en donde se menciona que, la pulpa de café presenta un porcentaje de 9.58% de ceniza, siendo más alto en comparación al del maíz, que es de 6.10% (Fierro, Contreras, González, Rosas, Morales, Ramos, 2018), por lo que al mezclar estos materiales se reduce el porcentaje de ceniza y mejora el poder calorífico; Por lo anterior los tratamientos 2 y 3 presentaron los mayores tiempos de combustión al tener bajos porcentajes de ceniza, este datos concuerda con Gamarra (2010), quien concluyo en su investigación que las briquetas con menor contenido de ceniza presentan una mayor eficiencia energética.

Los mejores tiempos de combustión fueron identificados en las briquetas que se incorporan ya sea el 25% o 50% de rastrojo de maíz, y la que utiliza almidón de yuca como aglutinante, en tal sentido la briqueta con el 75% de pulpa de café o con el 50% de pulpa de café y complemento rastrojo de maíz, con almidón de yuca como aglutinante, presentan más tiempo en mantener la llama de fuego, característica importante para la cocción de alimentos.

Al hablar de emisión de monóxido de carbono para los dos tratamientos con mejor poder calorífico, se encontró que el tratamiento 2 emite 69.76 ppm, emitiendo aproximadamente el doble del tratamiento 1 quien obtuvo 30.513 ppm., que de acuerdo al límite de exposición permisible establecido por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Estados Unidos de Norte América (OSHA), quien indica que debe ser de 50 ppm durante una jornada laboral de 8 horas, siendo para Guatemala, ya que es de 87.57 ppm según el Centro de Investigación de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentran en los rangos permitidos, siendo esto beneficioso, tanto para la salud y el medio ambiente.

A pesar que las briquetas estudiadas en este proyecto de investigación tienen características físicas y químicas importantes, la cuales las hace potencial para su divulgación masiva, la validación social reveló que tiene demanda en zonas peri urbanas y urbanas para su uso, ya que son zonas en donde aumenta la demanda de leña y existen épocas en que aumenta de precio, por ejemplo en temporada de lluvia la tarea (1.84 altura, 3.35 m de largo y .40 m de ancho, teniendo un aproximado de 400 leños) llega a tener un precio de Q 500.00 y en verana Q 350.00

Al referirse de los aspectos económicos de la fabricación de briquetas, es de mencionar que el costo inicial para iniciar un emprendimiento es alto, lo que se debe continuar haciendo estudios financieros dirigido a grupo organizado de productores y comercializadores de café en la zona.

10. Protección intelectual

De acuerdo a los lineamientos de la DIGI, los productos que se generen mediante la invención que promueve esta propuesta de investigación, será regido mediante la Política de Propiedad Intelectual vigente. De tal manera que, como proponentes de este proyecto, nos comprometemos a comunicar por escrito por medio de una Declaración de Invención a donde corresponda, con el objeto de la protección y proporcionar toda la información necesaria para comprender y solicitar la protección, que se deriven de la invención que propone en el marco de este proyecto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 39. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Hallazgo	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
Eficiencia energética	Sector académico	10	Sector académico	30
	Amas de casa	35	Amas de casa	70
	Cooperativas	7	Cooperativas	15
	Comunidad de práctica de café	8	Comunidad de práctica de café	43

Nota: Se presenta los beneficiarios, directos e indirectos de las briquetas

12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Tabla 40. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

	Sí	No
Presentación TV		
Entrevistas radiales		
Podcast		
Entrevista DIGI		
Recursos audiovisuales	X	
Congresos científicos nacionales o internacionales		
Talleres	X	
Publicación de libro		
Publicación de artículo científico	X	
Divulgación por redes sociales institucionales	X	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

	Si	No
Presentación pública	X	
Presentación autoridades USAC		
Presentación a beneficiarios directos	X	
Entrega de resultados		
Docencia en grado	X	
Docencia postgrado		
Póster científico		
Trifoliales		
Conferencias		
Otro (describa)		

Nota: Se presenta plan de comunicación y difusión de los resultados obtenidos.

13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

La propuesta contribuye al objetivo 12 de desarrollo del PND, respecto a la producción y consumo sostenible, en esta investigación se aplicaron los principios de la economía circular para reutilizar o prolongar la vida útil de la pulpa de café o en combinación con rastrojos de maíz, como fuentes de energía, y contribuir a la reducción de residuos agroindustriales. La propuesta encaja en la Prioridades Nacionales de Desarrollo: Disponibilidad y acceso al agua y gestión de los recursos naturales en sus metas: 15.2 / P3.b Tasa Nacional de deforestación. Meta E.4P2 M2 / 15.1.1. Superficie Forestal. Meta E4.P10M1. / P3e.1 Porcentaje de la población que consume leña como combustible. Meta E4P3M3B / P3.r Proporción de combustible no fósil utilizados del total de combustible. Es decir, fortalece la conservación de los recursos naturales, mediante la reducción de combustibles como la leña y fortalece la reutilización de materiales actualmente subutilizados.

14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley

La propuesta está en sintonía con la estrategia nacional de producción sostenible y uso eficiente de la leña, que promueve el Instituto Nacional del Bosque –INAB-. Esta propuesta de investigación encaja muy bien con el objetivo estratégico que tiene PROMECAFE –



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa para el desarrollo de la Caficultura Regional- llamado sostenibilidad triple utilidad, que menciona aumentar la resiliencia de la cadena del valor café, mediante la gestión transversal del Cambio Climático, por otro lado, la propuesta contribuye al programa que fomenta el Ministerio de Energía y Minas en Guatemala en la reducción de uso de leña en los hogares de Guatemala. Si embargo los resultados serán entregados a las instancias anteriormente mencionadas, para que sirva de base, para promover la producción y el uso de leños ecológicos y no con fines de generar iniciativas de ley y políticas, ya para este fin se debe sustentar de forma legal exposición de motivos parte normativa y normas transitivas, algo que no es parte del proyecto, ya que solo es investigación.

15. Vinculación

El proyecto se vinculó con los siguientes actores para potenciar el impacto y la apropiación de las tecnologías que de esta investigación se derivaron: 1) PROMECAFE –Programa para el desarrollo de la Caficultura regional- una instancia que tiene aglutina a centro américa y el caribe y que uno de sus ejes estratégicos de trabajo es la sostenibilidad y la triple utilidad de los subproductos del café. 2) La Comunidad de Práctica –CoP- es una iniciativa que aglutina a productores, exportadores, técnicos, Organismos gubernamentales, No Gubernamentales, prestadores de servicios, iniciativa privada, con la finalidad de mejorar la cadena de café en todos los eslabones y esta investigación se centra en el eje de sostenibilidad en la COP Huehuetenango. 3) se concretó un encuentro con la Cooperativa Río Azul en Jacaltenango Huehuetenango. 4) además se vinculó con autoridades locales de la comunidad de Jacaltenango, para el desarrollo de la prueba de campo final y presentación de resultados finales, 5.) Se presentaron los resultados a docente y estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal en el curso de Procesamiento de la Madera en las Instalaciones del CUNOROC.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16. Conclusiones

- 16.9. Los tratamientos 2 y 3 presentan los mayores tiempos de combustión y poder calorífico, siendo estos 20.38 MJ/kg y 19.47 MJ/kg, así mismo, mostraron mayores emisiones de monóxido de carbono (CO), siendo estos 69.76 ppm y 74.47 ppm respectivamente. Estos tratamientos tienen en su composición 25% y 50% de rastrojo de maíz respectivamente más 5% de almidón de yuca como aglutinante y colofonia en un 10% como iniciador, lo que les permite mejores tiempos de combustión, y que el tratamiento dos presenta 27.48% y el tratamiento tres 23.13% de ceniza, siendo menores al resto de los tratamientos, lo cual indica que ambos tienen un mayor poder calorífico, haciéndolos llamativos para las personas por mantener por más tiempo la llama de fuego activa para cocción de alimentos.
- 16.10. Al comparar los datos de emisión de material particulado emitido por metro cúbico PM Estimate (partículas en suspensión), todos los tratamientos exceden el rango permitido de 3889.41 PM E., según el Centro de Investigación de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por lo que su uso puede ocasionar daños a la salud humana y al ambiente.
- 16.11. Los resultados indican que las briquetas elaboradas con 100% de pulpa de café, 5% de almidón de yuca como aglutinante y colofonia como iniciador en un 10%, presentan mayor resistencia a la fragmentación, menor emisión de monóxido de carbono y es el segundo mejor tratamiento en emisión de microgramos de material particulado por metro cúbico de aire, pero además presenta mayores porcentajes de humedad y cenizas, y el tiempo de combustión es el menor, siendo un tratamiento que tiene buenas características nobles para la salud humana y para el ambiente, pero para el cocimiento de los alimentos presenta un desventaja, puesto que en corto tiempo se consume y genera hasta un 50.32% de cenizas.
- 16.12. Al realizar los grupos focales con mujeres del área rural pertenecientes a los grupos étnicos Popti y Mam, se evidencio que existe mayor aceptación de las briquetas para ser utilizadas en áreas urbanas y peri urbanas, no así para hogares o familias del área rural, además se evidencio aceptación del uso de briquetas con grupos organizados de productores y comercializadores de café, aglutinados en asociaciones o cooperativas.
- 16.13. El costo de elaboración de las briquetas en el primer año para 0.454 kg es de Q 25.00, tomando en cuenta la compra de equipos utilizados durante la presente investigación, sin embargo, descartando los costos de los equipos tales como prensa hidráulica semi industrial y picadora motorizada los costos pueden alcanzar Q3.8 por 0.454 por kg.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

17. Recomendaciones

- 17.9. Se recomienda utilizar la pulpa de café como material principal para la elaboración de briquetas en un 100 % utilizando 5 % de almidón de yuca como aglutinante y 10 % de colofonia como iniciador, como un tratamiento con potencial para continuar investigándolo para poder disminuir aún los microgramos de material particular por metro cúbico.
- 17.10. Los tratamientos mezclados con rastrojos de maíz, ya sea en un 25% o 50%, tiene condiciones altas para la cocción de alimentos, los cuales fueron destacados en los grupos focales con mujeres del área urbana y periurbana, sin embargo, se recomienda utilizar otros materiales como aglutinantes para reducir las emisiones de partículas suspendidas PM, para mejorar la percepción que se tienen de las briquetas por emiten más humo al compararlo con la leña de uso diario.
- 17.11. Explorar equipo artesanal para la elaboración de briquetas, ya que presentan muy buena aceptación y posibilidades económicas de escalar esta iniciativa a un proyecto productivo, principalmente en áreas urbanas y peri urbanas en el área Popti, principalmente en grupos organizados de productores o comercializadores de café, en donde se identificó mejores condiciones económicas y sociales para poder iniciar un emprendimiento de estas características.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Referencias

- Alvarez, L. (2017). *Diseño de la investigación de la caracterización energética de las cinco especies arbóreas mas utilizadas para el consumo de leña en Santa Cruz del Quiche*. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1669_Q.pdf
- Balseca, O., Lòpez, S., Viteri, E., Analuisa, D., & Hernandez, E. (2018, Julio). *Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (borra) como biocombustible sólido*. Retrieved from <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/565/html>
- Banco de Guatemala - Universidad Rafael Landivar. (2009). *Cuenta Integrada de Energía y Emisiones (CIEE)*. Guatemala: Serie divulgativa No. 6.
- BeyraI, R., Castro, I., Mesa, M., Ocampo, A., Fernández, D., & Fernández, D. (2015, Agosto). *Efecto de la pulpa de Coffea arabica L. sobre la microflora de tres unidades de suelos*. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000200005
- Central American Business Intelligence (CABI). (2021, Agosto). *La importancia del café en la economía de Guatemala: Productividad, Sostenibilidad, Migración y Huella*. Retrieved from <https://www.anacafe.org/uploads/file/755c7c3b498c4b3e8a4acfc94b2dd3ad/Estudio-Cabi-2022.pdf>
- Chamarravia, O., & Moreno, C. (2022). Mechanical Characterization of spent - coffe-grounds briquettes. *Journal Renewable Energy*, 6(17), 15-23. doi:10.35429/JRE.2022.17.6.15.23
- Chávez, O. (2022, Febrero). *Situación del cultivo de maíz en Guatemala: principales limitaciones en la productividad*. Retrieved from <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2596/2972>
- De León, P., & Rodriguez, R. (2021, Agosto). *La importancia del café en la economía de Guatemala: Productividad, Sostenibilidad, Migración y Huella*. Retrieved from <https://www.anacafe.org/uploads/file/755c7c3b498c4b3e8a4acfc94b2dd3ad/Estudio-Cabi-2022.pdf>
- Enriquez, E., Escobedo, N., & Landaverde, P. (2018). *Efecto de la Vegetación natural sobre la comunidad de abejas silvestres y el servicio ecosistémico de polinización en plantaciones de café en Guatemala*. Dirección General de Investigación -DIGI-, Guatemala.
- Fentahun, W., & Venkatesh, K. (2022). *Production and Characterization of Coffee Husk Fuel Briquettes as an Alternative Energy Source*. Retrieved from <https://www.hindawi.com/journals/amse/2022/9139766/>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Fernández, Y., Sotto, K., Vargas, & Luis. (2020). *Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v15n1/1909-0455-pml-15-01-93.pdf>
- Ferronato, N., Calle, I., Gorrity, M., Conti, F., & Torretta, V. (2022). *¿Son las briquetas a base de residuos combustibles alternativos en los países en desarrollo? Una revisión crítica*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082622000461?via%3Dihub>
- Fierro, N., Contreras, A., González, Rosas, E., & Morales, V. (2018). *Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (coffea arabica L.)*. Veracruz: Colegio de Postgrado Campus Córdoba.
- Gallipoliti, V., Martina, P., Aeberhardt, R., & García, E. (2022). *Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico*. Retrieved from <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2369/2281>
- Gamarra, L. (2010). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña*. Honduras: Zamorano.
- Gutiérrez, C., Rodríguez, L., García, J., & Feregrino, A. (2020, Junio). *Revalorización de residuos del cultivo de café: rumbo a una economía circular*. Retrieved from [file:///C:/Users/insta/Downloads/document+\(42\)_CompressPdf.pdf](file:///C:/Users/insta/Downloads/document+(42)_CompressPdf.pdf)
- IARNA URL. (2012, Octubre). *Análisis sistémico de la deforestación en Guatemala y propuesta de políticas para revertirla*. Retrieved from <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40402>
- INAB. (2015). *Estrategía nacional de producción sostenible y uso eficiente de la leña 2013-2024*. Retrieved from https://www.inab.gob.gt/images/centro_descargas/industria_comercio_forestal/Estrategia%20de%20Productos%20y%20Uso%20de%20Le%C3%B1a.pdf
- INAB. (2023, Octubre). *Boletín informativo*. Retrieved from Mapas de Cobertura Forestal muestran resultados alentadores en la preservación de los bosques de Guatemala: https://www.inab.gob.gt/images/boletines/2023/octubre/Mapa_de_cobertura_forestal.pdf
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA-. (2002). *El cultivo de Maiz en Guatemala*. Guatemala.
- INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (2015). *Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013 - 2014*. Guatemala: Serie Institucional ES-002(2015).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Janczak, J. (1981, Agosto). *Fuentes de energía nuevas y renovables: Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos*. Retrieved from <https://www.fao.org/3/p2070s/p2070s06.htm>
- Larrañaga, M. M., & Marco, N. F. (2012). *Oferta y Demanda de Leña en la República de Guatemala*. Guatemala.
- Marcos, F. (2009). *Pélets y Briquetas*. Retrieved from https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf
- ONU. (2023). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Prensa libre. (2023, Octubre). *La producción cafetera del país superó los 4.3 millones de quintales este año*. Retrieved from <https://www.prensalibre.com/economia/la-produccion-cafetera-del-pais-supero-los-4-3-millones-de-quintales-este-ano-pero-no-todas-las-noticias-son-buenas/>
- Rutiaga, J., Morales, M., & López, L. (2023). *Generalidades de los biocombustibles*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/M_Morales-Maximo/publication/376682584_Capitulo_1_Generalidades_de_los_biocombustibles_solidos/links/658371e32468df72d3c0bcd3/Capitulo-1-Generalidades-de-los-biocombustibles-solidos.pdf
- Safri, G., Banu, N., Suprpto, & Sapitri, J. (2022). *La utilización de residuos de biomasa como briquetas de carbón vegetal para reducir la eliminación de residuos*. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2193/1/012086>
- Salinas, E., & Gasca, V. (2009, Octubre). *Los biocombustibles*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>
- Suaréz, J., & Leungo, C. (2010). *Briquetas de cascarilla de café: una nueva fuente de energía renovable*. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00908310390232415?needAccess=true>
- Syed, N., Jamil, H., Firuz, Z., & Yahya, H. (2021). *Procesamiento y caracterización de briquetas de carbón vegetal fabricadas a partir de residuos de paja de arroz como alternativa de energía renovable*. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2080/1/012014>
- Thatchapol, C., & Naruebodee, S. (2020). *Preparación y caracterización de briquetas de combustible a partir de residuos agrícolas duales: cáscaras de anacardo y nueces de areca*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620304819?via%3Dihub>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Universidad Rafael Landívar . (2022, Mayo). *Perfil ambiental de Guatemala 2022*. Retrieved from https://biblior.url.edu.gt/wp-content/uploads/public/hlg/IARNA/serie_ambi/978-9929-54-422-2.pdf
- Valderrama, A., Curo, h., Quispe, C., Llantoy, V., & Gallo, J. (2007). *Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales*. Retrieved from https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2007_v02/pdf/a04v2.pdf
- Venegas, A., Carrasco, J., & Aguirre, C. (2018). *Manejo de rastrojos del cultivo de Maíz*. Retrieved from <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6735/NR41430.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Yoon-Gyo, Lee; Eun-Jin, Cho; Shila, Maskey; Dinh-Truong, Nguyen; Hyeun-Jong, Bae. (2023, Abril). Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10146170/#B11-molecules-28-03562>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice

Guía de Preguntas para desarrollo de grupo focal

1. ¿La forma de la briqueta es de fácil manejo? o ¿qué forma sería la ideal para ustedes?

Sería mejor que la forma fuera más alargada, para que se asemeje más a la forma del leño.

2. ¿Qué diferencias principales notan entre las briquetas y la leña, al momento de quemarlas?

- El fuego de la briqueta se mantiene durante más tiempo.
- Las briquetas producen mayor cantidad de humo.

3. ¿El olor que emanan las briquetas es diferente al de la leña?, ¿Es agradable al olfato?

Huele diferente a la leña, pero no es ofensivo, el olor es similar al cartón.

4. ¿El producto es bueno para la cocción de alimentos?

Si, es más rápido debido a la gran cantidad de llama que produce.

5. Si el producto estuviera disponible en la región lo utilizaría

Si, porque calienta más rápido y contamos con la materia prima para elaborarlo. Debido a esto nos saldría más barato que la leña.

6. ¿sustituirían de manera parcial o total el uso de la leña por briquetas?

- Si, ya que contamos con los materiales en nuestro medio.
- Si, más en el invierno ya que obtener la leña en esa época es muy difícil, ya que toda se encuentra mojada.
- Además, ya casi no se consigue la leña en áreas cercanas al casco urbano.

7. Si tuvieran a la mano la materia prima ¿fabricarían sus propias briquetas?

Si, ya que contamos con los materiales en nuestro medio.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8. ¿Qué tipo de alimento se pueden cocinar con las briquetas?

Todo tipo de alimento, exceptuando asados debido a la presencia de humo, ya que se ahumaría la carne, es mejor utilizarlo en estufas con chimenea.

Grupo focal con técnicos de la cooperativa Rio azul en Jacaltenango

1. ¿La forma de la briqueta es de fácil manejo? o ¿qué forma seria la ideal para ustedes?

Si, ya que cabe perfectamente en la altura de la plancha.

2. ¿Qué diferencias principales notan entre las briquetas y la leña, al momento de quemarlas?

- La presencia de humo es mayor en las briquetas.
- La llama es más fuerte en la briqueta a comparación de la leña.

3. ¿El olor que emanan las briquetas es diferente al de la leña?, ¿Es agradable al olfato?

No es ofensivo.

4. ¿El producto es bueno para la cocción de alimentos?

Si, debido a la temperatura que alcanzo.

5. Si el producto estuviera disponible en la región lo utilizaría

Si, porque calienta más rápido y contamos con la materia prima para elaborarlo. Debido a esto nos saldría más barato que la leña.

6. ¿sustituirían de manera parcial o total el uso de la leña por briquetas?

Si, ya que a simple vista se ve que las briquetas rinden más. En lugar de cargar unas 100 libras de leña, se cargaría unas 50 libras de briquetas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7. Si tuvieran a la mano la materia prima ¿fabricarían sus propias briquetas?

Si, ya que en el medio hay mucho café, la mayor parte de las personas tienen por lo menos una su media cuerda de café.
8. ¿Qué tipo de alimento se pueden cocinar con las briquetas?

Para todos, menos para asados.
9. ¿El humo podría afectar en la cocción de los alimentos?

Si, ya que al cocinar sin chimenea se acumula el humo en la cocina, pero eso se puede reducir usando estufas con chimenea o con estufas ahorradoras.
10. ¿Comprarían el producto?

Si, si puede competir con el precio de la leña.
11. Como cooperativa ¿les convendría fabricar briquetas?

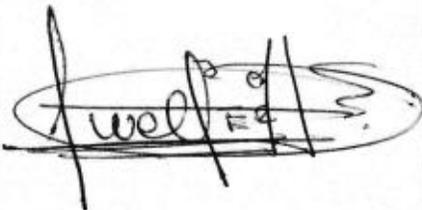
Si, ya que actualmente secamos la pulpa para incorporarla al suelo y tenemos mucha acumulación de la misma, además nos ayudaría a reducir la contaminación de moscas que hay en la cooperativa.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

<p>MSc, Ing. Agr. Walfer Wilfredo Martínez Xutuc Coordinador del Proyecto</p>	<p>Firma</p> 
<p>Fecha: 28/02/2025</p>	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

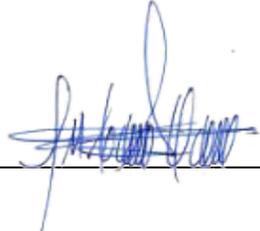
<p>MSc, Ing. For. Marvin Misael Herrera Gómez Director del Centro Universitario de Nor Occidente</p>	<p>Firma</p> 
<p>Fecha: 28/02/2025</p>	



Aprobación de la Dirección General de Investigación



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

<p>Inga. Liuba María Cabrera Ovalle Coordinadora del Programa Universitario de Investigación</p>	<p>Firma</p> 
<p>Fecha: 28/02/2025</p>	

/Digi2024