



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL
CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN
LA GENERACIÓN DE VAPOR**

AUTORES:

**JANDRY LENIN LOOR ZAMBRANO
JIMY ANTONIO ZAMBRANO FERRIN**

TUTORA:

ING. ROSA IRINA GARCÍA PAREDES, MGTR.

CALCETA, OCTUBRE 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Jandry Lenin Loor Zambrano, con cédula de ciudadanía 131623428-3, declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



JANDRY LENIN LOOR ZAMBRANO
CC: 131623428-3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Jimmy Antonio Zambrano Ferrin, con cédula de ciudadanía 131382392-2, declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



JIMY ANTONIO ZAMBRANO FERRÍN
CC: 131382392-2

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo Jandry Lenin Loor Zambrano, con cédula de ciudadanía 131623428-3, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



JANDRY LENIN LOOR ZAMBRANO
CC: 131623428-3

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo Jimmy Antonio Zambrano Ferrin, con cédula de ciudadanía 131382392-2, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



JIMY ANTONIO ZAMBRANO FERRÍN
CC: 131382392-2

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Rosa Irina García Paredes Mgtr, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR**, que ha sido desarrollado por Jandry Lenin Loor Zambrano y Jimmy Antonio Zambrano Ferrin, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. ROSA IRINA GARCÍA PAREDES, MGTR.
CC: 131077904-4
TUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **PRODUCCIÓN DE PELLETS UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ Y MAÍZ PARA SU APROVECHAMIENTO CALORÍFICO EN LA GENERACIÓN DE VAPOR**, que ha sido desarrollado por Jandry Lenin Loor Zambrano y Jimy Antonio Zambrano Ferrín, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**ING. DENNYS LENIN ZAMBRANO
VELÁSQUEZ MGTR.**

CC: 131034276-9

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**ING. RAMÓN TOBÍAS
RIVADENEIRA GARCÍA
MGTR.**

CC: 130743395-1

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**ING. JOSÉ FERNANDO
ZAMBRANO RUEDAS MGTR.**

CC: 131082846-0

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A mis padres, que son el pilar del día a día y que siempre han estado apoyándome en cada momento de este camino recorrido. A mi compañera de vida Anagely Lisbeth Gonzales Vélez por siempre darme fuerzas y estar siempre en los buenos y malos momentos apoyándome. A mi familia que siempre estuvo allí cuando lo necesite en este proceso de obtención del título de tercer nivel. A mis docentes que me impartieron sus conocimientos para ser un buen profesional en todos los ámbitos. A nuestra tutora Ing. Rosa Irina García Paredes, por su apoyo en todo este proceso de titulación y por los conocimientos impartidos y a mis compañeros por permitirnos compartir y aprender de ellos durante este largo proceso de estudio, en especial a; Jimmy, David, José, Angela, Selene, Erika y Dexcy, por su amistad y compañerismo.

JANDRY LENIN LOOR ZAMBRANO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A Dios, por haberme acompañado a lo largo de este proceso educativo y a través de cada momento de mi vida. A mi familia, en especial a mis padres, hermanos y abuelos quienes con su apoyo contribuyeron a no desmayar y permitirme seguir adelante. A nuestra tutora Ing. Rosa Irina García Paredes, quien nos brindó las pautas y enseñanzas en cada momento del proceso de titulación. A todos los docentes que nos impartieron sus conocimientos en la faceta académica. A mis compañeros con quienes se fortaleció una bonita amistad y aprendizaje conjunto.

JIMY ANTONIO ZAMBRANO FERRÍN

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar de todo este largo proceso de estudio, por ayudarme a seguir mejorando y nunca dejar de estar pendiente y guiarme en este camino que fue muy complicado, este título de tercer nivel es la recompensa de todo el apoyo que me han dado durante todo el proceso de formación desde la escuela hasta la universidad. A mis hermanos que están en el cielo Gisella y Ramón por siempre haber confiado en mí y sé que están orgullosos de mí desde el reino que están.

JANDRY LENIN LOOR ZAMBRANO

DEDICATORIA

A mis padres, que siempre me apoyaron a través de este proceso educativo, no permitieron que desmayara, me incentivaron a continuar hasta lograr el objetivo.

A mi persona, por el constante interés de superación y esfuerzo dedicado en este valioso caminar del aprendizaje.

JIMY ANTONIO ZAMBRANO FERRÍN

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iv
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
DEDICATORIA.....	x
DEDICATORIA.....	xi
CONTENIDO GENERAL.....	xii
CONTENIDO DE TABLAS	xv
CONTENIDO DE GRÁFICO.....	xv
CONTENIDO DE FÓRMULAS	xv
RESUMEN	xvi
PALABRAS CLAVE	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 BIOMASA.....	6
2.1.1 BORRA O BAGAZO DE CAFÉ	6
2.1.2 RASTROJOS DE MAÍZ.....	7
2.2 BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS	8
2.2.1 PELLETS	9

2.3 AGLUTINANTES.....	10
2.3.1 ALMIDÓN DE YUCA	10
2.4 PARÁMETROS FÍSICOS.....	10
2.4.1 HUMEDAD	10
2.4.2 DENSIDAD.....	11
2.4.3 CENIZAS.....	11
2.4.4 MATERIA VOLÁTIL	12
2.4.5 CARBONO FIJO	12
2.4.6 TIEMPO DE COMBUSTIÓN	13
2.4.7 DURABILIDAD	13
2.4.8 PODER CALORÍFICO	13
2.5 DISEÑO DCA SIMPLEX-CENTROIDE	14
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	15
3.1 UBICACIÓN	15
3.2 DURACIÓN	15
3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	15
3.3.1 MÉTODOS	15
3.3.2 TÉCNICAS.....	16
3.4 COMPONENTES EN ESTUDIO	18
3.4.1 NIVELES	18
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	18
3.7 VARIABLES A MEDIR	21
3.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO	21
3.8.1. Fase I.- Realizar los análisis físicos de los subproductos de café y maíz	21
3.8.2. Fase II.- Elaborar pellets con mezclas de los subproductos de café y maíz	22
3.8.3 Diagrama de proceso en la elaboración de pellets de subproductos del café y maíz.....	23
3.8.4. Descripción del proceso de elaboración de los pellets de subproductos del café y maíz.....	24
3.8.5. Fase III: Análisis físicos, análisis estadístico y análisis costo-beneficio de pellets de subproductos café y maíz.....	25

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS PELLETS	27
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	27
4.2.1. OPTIMIZACIÓN ENTRE PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN.....	28
4.2.2. OPTIMIZACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES.....	30
4.3. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO POR KG DE PELLETS	35
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
5.1. CONCLUSIONES.....	38
5.2. RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	48

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Tabla Anova.....	19
Tabla 2. Diseño experimental	19
Tabla 3. Variables respuesta	20
Tabla 4. Formulación de los pellets	21
Tabla 5. Resultados de los análisis físicos a los pellets.....	27
Tabla 6. Tabla anova de las variables dependientes.	28
Tabla 7. Optimización de variables dependientes.....	30
Tabla 8. Precio total de materia prima	35
Tabla 9. Gastos de fabricación de pellets	35
Tabla 10. Costo de mano de obra.....	36
Tabla 11. Costo de producción unitario	36
Tabla 12. Costo de producción	36
Tabla 13. Precio de venta al público	36
Tabla 14. Costo beneficio del kg de pellets.....	36
Tabla 15. Precio de venta sugerido	36

CONTENIDO DE GRÁFICO

Gráfico 1. Ubicación del laboratorio de bromatología de la ESPAM MFL	15
Gráfico 2. Optimización entre poder calorífico y tiempo de combustión.....	28

CONTENIDO DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Porcentaje de carbono fijo.....	17
Fórmula 2. Poder calorífico superior	17

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el poder calorífico de pellets elaborados a partir de subproductos del café y maíz para su aprovechamiento en la generación de vapor; para lo cual se utilizó un diseño de mezcla simplex-centroide con tres factores, factor A (borra de café), factor B (raquis de maíz) y factor C (tallo de maíz), obteniendo 22 corridas experimentales; las variables en estudio fueron: humedad, densidad, cenizas, durabilidad, tiempo de combustión, materia volátil, carbono fijo, y poder calorífico; se realizó un análisis de correlación entre el poder calorífico y el tipo de combustión de las muestras, en donde se encontró que el tratamiento 18 compuesto en su totalidad de borra de café, la cual con humedad de 10,3905 % tuvo un poder calorífico de 16,1187 MJ/Kg y un tiempo de combustión de 108 minutos; de mismo modo, con el uso del programa Statgraphics Centurion 16.103 se obtuvo el valor óptimo de cada una de las variables estudiadas; se realizó un análisis de costo-beneficio utilizando como referencia la mezcla en igual proporciones de los tres factores en estudio y su poder calorífico proporcionado en donde el costo de venta sugerido por kg de pellets es de \$0,61, con un beneficio de \$0,10. La investigación demostró que la humedad del pellet tiene influencia directa en el poder calorífico y tiempo de combustión del biocombustible sólido, también que de los factores en estudio la borra de café influyó de mejor manera en la mayor parte de las variables estudiadas.

PALABRAS CLAVE

Biomasa, poder calorífico, biocombustible, tiempo de combustión, costo-beneficio.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the calorific value of pellets made from coffee and corn byproducts for their use in steam generation; for which a simplex-centroid mixture design was used with three factors, factor A (coffee grounds), factor B (corn rachis) and factor C (corn stalk), obtaining 22 experimental runs; The variables under study were: humidity, density, ash, durability, combustion time, volatile matter, fixed carbon, and calorific value; a correlation analysis was carried out between the calorific value and the type of combustion of the samples, where it was found that treatment 18 composed entirely of coffee grounds, which with humidity of 10.3905% had a calorific value of 16.1187 MJ/Kg and a combustion time of 108 minutes; likewise, with the use of the Statgraphics Centurion 16.103 program, the optimal value of each of the variables studied was obtained; a cost-benefit analysis was carried out using as a reference the mixture in equal proportions of the three factors under study and their calorific value provided where the suggested sales cost per kg of pellets is \$0.61, with a profit of \$0.10. The research showed that the humidity of the pellet has a direct influence on the calorific value and combustion time of the solid biofuel, also that of the factors under study, the coffee grounds had the best influence on most of the variables studied.

KEY WORDS

Biomass, calorific value, biofuel, combustion time, cost-benefit.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La producción mundial de café genera más de 23 millones de toneladas de desechos por año, según el investigador de sustentabilidad Gunter Pauli, desde la pulpa de las cerezas frescas del café hasta el empaque que lleva los granos tostados a su barista favorito. En el extremo del consumidor de la cadena de suministro, los residuos de café usados son el ejemplo más visible de este desperdicio, la parte que arrojamos a la basura después de la elaboración de café (Duncan, 2018).

Es un subproducto inevitable del consumo de café, que en muchos casos se asume que es seguro tirar la tierra junto con otros desechos orgánicos, terrenos que conllevan a tener un impacto significativo en el medio ambiente cuando terminan yendo al vertedero. Esto es lo que sucede con los pozos de café usados que se desechan (Kanniah, 2020).

La empresa “EL CAFÉ C.A.”, es una Compañía Ecuatoriana que se encarga de realizar elaborados de Café, desde 1977 produce café soluble instantáneo, y como consecuencia de sus procesos de extracción de café genera grandes cantidades de bagazo del café, mismo que en la actualidad no se le está dando ningún valor agregado. Por ello, la empresa tiene la necesidad de darle un aprovechamiento a este recurso, utilizándolo como fuente de biomasa para su uso en un caldero y obtener de este modo fuentes renovables de energía calórica para sus procesos.

Según Morales y Pérez (2020) la borra de café contiene una humedad aproximada de 74.73% %, por este motivo no puede ser utilizado directamente en un caldero, ya que se debe reducir su porcentaje de humedad hasta un valor cercano 15 % para poder ser utilizada como combustible en las calderas o para hacer carbón, otra opción es procesarla y transformado en biocombustible sólido (pellet) con la mezcla de otro tipo de biomasa, reduciendo de esta manera el alto contenido de humedad y generar un poder calorífico más alto.

Otra problemática en la cual se basa la investigación es el mal manejo dado a los residuos generados en la producción de maíz, Butzen et al., (2022) mencionan que, la producción de rastrojos de las plantas de maíz es aproximadamente igual al peso del grano producido, es decir, si la producción de maíz superan los 19500 kg/ha, los rendimientos del rastrojo pueden alcanzar de 13450 a 19000 kg/ha, esto es más del doble de los residuos producidos por la mayoría de los otros cultivos, y si no se gestionan adecuadamente, pueden producirse reducciones de la masa y del rendimiento debido al exceso de estos, con un 90% de cobertura de residuos a menos de 5 cm del surco de siembra disminuirá el rendimiento considerablemente.

En el caso de Ecuador, se ha registrado una producción anual de semilla de maíz de alrededor de 1,22 millones de toneladas, lo que corresponde a 330 mil hectáreas cosechadas de diferentes regiones del país. Como resultado, se espera una producción nacional promedio de semilla de maíz y generación de residuos de biomasa de alrededor de 3,70 t/ha y 3,04 t/ha (87% del total de semilla de maíz producido (Martillo et al., 2021, citado por Zambrano, 2021).

Domínguez y Loor (2018) destacan que el 95% de la biomasa proveniente de los residuos de cultivos de maíz, también conocido como rastrojo (hojas, tallos y mazorcas de plantas de maíz), quedan en el campo después de la cosecha y los agricultores realizan una limpieza del terreno quemando los rastrojos de cultivos de maíz, provocando el desgaste del suelo.

Por lo que en base a lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Son los subproductos del café y maíz los componentes idóneos para elaborar pellet de alto poder calorífico en la generación de vapor?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La situación de la biomasa en el mundo, en varios casos, supone una problemática que radica en la escasez de desarrollo tecnológico y de eficiencia energética, donde no existe una planificación sostenible para su aprovechamiento, contribuyendo a la escasez de fuentes de energía accesibles, sustentables y económicas (Cerdá, 2014, citado por Briones y Chillán, 2019).

Ballesteros (2021) señala que la industria cafetera está vinculada con la contaminación ambiental, entre otras razones, debido a la enorme cantidad de residuos que genera. Estos desechos se producen en todas las fases de la cadena de valor del café y se pueden convertir en un problema fitosanitario o ambiental si no se manejan de manera apropiada.

Briones y Chillán (2019) resaltan que, el Ecuador presenta un gran potencial energético a partir de biomasa por ser un país eminentemente agropecuario. No obstante, de las actividades productivas provenientes de la agricultura y ganadería se obtienen residuos que no están siendo aprovechados energéticamente. De igual modo Martillo et al. (2019) señalan que, en el caso de los residuos de la cosecha de maíz, se han reportado coeficientes totales de residuos entre 0.5 - 3.2 kg de residuos por kg producto en países de América del Norte y del Sur, Asia Oriental y Meridional y Europa Oriental, valores entre 1-2 kg de residuos por kg producto en el caso de China y 1 kg de residuos por kg producto en México, encontrándose ligeras diferencias en cuanto a la forma de cosecha.

El presente trabajo investigativo consiste en la elaboración de pellets utilizando la biomasa resultante del procesamiento de café, en la mezcla con residuos de maíz con el propósito de obtener un biocombustible sólido, con la generación de vapor necesaria para el uso en calderas.

En el ámbito ambiental la utilización de pellet de biomasa sobre otros combustibles los pellets son un biocombustible asequible y limpio que emite niveles más bajos de partículas, dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles. Las fuentes de

energía renovable como estas ofrecen la forma más eficiente de reemplazar la energía de fuentes de combustibles fósiles (Stein, 2023)

Uzcátegui (2018) destaca que hoy en día el mundo está prestando mucha atención a los temas ambientales y Ecuador no se queda atrás en este tema, los municipios están comenzando a regular a todos los establecimientos que tenga algún tipo de impacto ambiental en las actividades del día a día, estas regularizaciones van desde control de contaminación del suelo, control de contaminación de agua, control de contaminación de residuos y control de contaminación de la atmósfera.

Desde el punto de vista socio-económico se prevé obtener resultados positivos en cuanto a la factibilidad de la elaboración de pellet, brindando la oportunidad de vincular el sector industrial con el sector campesino, proporcionando a los productores de maíz una forma de generar valor económico con los rastrojos de maíz, por su parte la empresa tendrá una forma de valorar la borra de café en la creación de pellet para su uso en calderas, obteniendo de esta manera una eficiencia energética dentro de los procesos productivos la empresa EL CAFÉ C.A.

La investigación proporcionará información de importancia sobre el uso de biomásas, biocombustibles sólidos, las pautas de la realización de pellets y el potencial energético de los mismos, con el propósito de contribuir a futuras investigaciones que busquen el aprovechamiento energético de las biomásas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1.OBJETIVO GENERAL

➤ Evaluar el poder calorífico de los pellets elaborados a partir de subproductos del café y maíz para su aprovechamiento en la generación de vapor en la empresa “El Café C.A.”

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

➤ Caracterizar los parámetros físicos (humedad, densidad, cenizas, durabilidad, tiempo de combustión, materia volátil, carbono fijo, y poder calorífico) de los pellets de subproductos del café y maíz para aprovecharlos en generación de vapor.

➤ Realizar un análisis estadístico para determinar cuál formulación genera mayor poder calorífico con base a la estabilidad de la combustión de los pellets.

➤ Establecer el costo-beneficio de producción del Kg de pellets elaborado con subproductos café y maíz para el aprovechamiento calorífico en la generación de vapor.

1.1. HIPÓTESIS

H1= Al menos una de las formulaciones de mezcla de borra de café (*Coffea*) y residuos de maíz (*Zea mays*) contiene mayor poder calorífico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 BIOMASA

El Parlamento Europeo (2018) en su directiva (UE) 2018/2001 define a la biomasa como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, ya sean de origen vegetal y animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los industriales y municipales de origen biológico.

La Asociación de Empresas de Energía Renovables (2022) conceptualiza a la biomasa como la materia orgánica utilizada como fuente energética y que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, su valorización puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirólisis.

Rodríguez (2020) señala que, la biomasa, no tiene nada de nuevo, porque fue el principal combustible para el ser humano hasta que se dio la llegada de los combustibles fósiles. Se utilizaba para cocinar, calentar, hacer cerámica, etc. Hoy en día, debido a su carácter renovable y a la crisis energética, está volviendo a recuperar protagonismo. Tiene aplicación en múltiples sectores, tanto en la industria como en el sector doméstico y el terciario, ya que aporta notables ventajas energéticas, económicas y de cuidado del entorno que hacen de ella una de las principales fuentes energéticas renovables en estos ámbitos.

2.1.1 BORRA O BAGAZO DE CAFÉ

Son granos de café tostados y molidos a los que se les agotan algunos de sus compuestos solubles en agua, son residuos sólidos que se obtienen después del proceso de elaboración de café soluble y en la preparación de bebidas de café pasable que se pueden encontrar en los hogares y establecimientos comerciales

que sirven café, su eliminación es un gran problema desde el punto de vista ambiental, debido a que suelen ser arrojados directamente a la basura, por lo que en su mayoría terminan en los vertederos, siendo altamente contaminantes debido a la presencia de importantes cantidades de sustancias orgánicas que demandan grandes cantidades de oxígeno para descomponerse (Franca y Oliveira, 2022).

El café es uno de los alimentos y productos básicos agrícolas más importantes del mundo. Desde el punto de vista de la economía circular, los subproductos del procesamiento de los granos de café se han convertido en una materia prima valiosa en otras áreas de la vida (Skorupa, 2022)

Datos proporcionados por la Empresa El Café C.A detallan que la borra de café en base seca resultante de sus procesos posee un poder calorífico de 23,4076 MJ/KG, con una humedad del 20 % un poder calorífico de 16,6505 MJ/KG y con una humedad de 40 % un poder calorífico de 12,8734 MJ/KG.

2.1.2 RASTROJOS DE MAÍZ

Es todo residuo que queda en el potrero después de la cosecha de los cultivos, incluidos restos de malezas. La producción de rastrojos se puede obtener estimando la producción de pajas, que se refiere a todos los restos de la estructura de la planta una vez cosechados los granos. En particular, el cultivo del maíz produce grandes volúmenes de rastrojos, del total de la planta solo el 50 % corresponde a grano, el otro 50 % está integrado por hojas, cañas y mazorcas (Venegas et al., 2018).

El rastrojo de Maíz es un material lignocelulósico, pero que además contiene otros elementos químicos, entre los que destacan el azufre, que en la combustión produce óxidos de azufre muy corrosivos; calcio y cloro, que producen gases muy ácidos; potasio, que es productor de cenizas que sintetizan y funden; y silicio, productor de cenizas fusibles. Por las características de los productos que se originan de la combustión del rastrojo de maíz, lo hace más complejo en comparación con las astillas de madera, las que apenas disponen de otros elementos distintos, como C, H, O. Sin embargo, el alto contenido de potasio de

las cenizas es una ventaja, pues puede ser empleado como fertilizante (Camps y Marcos, 2008 citado por Venegas et al., 2018).

2.1.2.1 RAQUIS DE MAÍZ

Lesme (2020) destaca que, el poder calorífico del raquis de maíz es de 17,40 MJ/kg, en los últimos años se han desarrollado numerosos estudios para el uso de la tusa como combustible en gasificadores de biomasa y el uso del gas en cocinas domésticas, en turbinas a gas y en motores de combustión interna para la generación de electricidad. Estos estudios se han orientado a evaluar la calidad del gas generado, mejorar el diseño de los gasificadores y a desarrollar modelos de equilibrio para evaluar los efectos de la humedad y las características de la tusa en la composición del gas.

2.1.2.2 TALLOS DE MAÍZ

Gómez y Pérez (2018) señalan que, para la producción de biocombustibles se buscan materias primas de bajo costo como los residuos lignocelulósicos, cultivos agrícolas con alto contenido de almidón, algas y otras fuentes. Entre ellas los tallos del maíz constituyen una de las principales opciones puesto que almacenan la energía en forma de carbohidratos complejos como la celulosa y hemicelulosa. Así, las características de las materias primas determinan los pretratamientos y tratamientos necesarios para la obtención de los azúcares fermentables y su conversión a etanol por microorganismos.

Cabrera (2018) indica que el tallo de maíz es un componente dentro los residuos de maíz totalmente aptos para ser aprovechados energéticamente puesto que tiene un poder calorífico promedio de 16,584 MJ/Kg.

2.2 BIOCMBUSTIBLES SÓLIDOS

Son una fuente de energía producida y generada a partir de subproductos forestales y vegetales. En otras palabras, se trata de residuos de materia orgánica y natural de gran poder calorífico y energético donde podemos se puede incluir residuos provenientes de las actividades agrícolas, industriales y desechos originados de la gestión forestal de los bosques, los biocombustibles

sólidos tienen como principal característica la neutralidad de emisiones, puesto que se considera que su mínima emisión no es mayor que aquella que se habría generado en su propio proceso natural de descomposición en el medio (Termosun Energías S.L., 2022).

El uso de los biocombustibles sólidos es una de las alternativas para reemplazar a los combustibles convencionales en la producción de energía eléctrica, calorífica y, además, va enlazado a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la demanda por fuentes de energía limpia, económica y renovable por lo que ha llevado a la búsqueda del aprovechamiento de los residuos agroindustriales en nuestro medio y mitigar su combustión (Ponce et al., 2020).

2.2.1 PELLETS

Ponce et al. (2020) definen a los pellets como fracciones pequeñas de material comprimido o ceñido de diferentes materiales como aserrín y otros subproductos agroindustriales, tienen forma cilíndrica con diámetros normalmente comprendidos entre 7 y 22 mm y longitudes de 3,5 a 6,5 cm, cuya elaboración se realiza a alta presión.

Son residuos procedentes en la mayoría de los casos de limpiezas forestales y otras industrias madereras que son triturados y convertidos a virutas, una vez secados para disminuir el nivel de humedad y las posibles resinas, son prensados en forma cilíndrica, los pellets están catalogado como combustible de CO₂ neutro, por lo que se incluye dentro de la lista de combustibles y energías renovables, es decir, que el CO₂ emitido = al CO₂ que absorben durante su crecimiento las plantas (Arnabat, 2020).

Con la elaboración de pellets se optimiza los gastos de almacenamiento y transporte de las biomásas, además, disminución de emisión de polvos en su manejo, y contribuyen a obtener una mayor de cantidad de energía calorífica por volumen con un eficiente control de la combustión, este combustible sólido en Ecuador tiene potencial uso en estufas y calderas industriales (Ponce et al., 2020).

2.3 AGLUTINANTES

Es una sustancia más o menos líquida y pegajosa que reúne las condiciones idóneas para aglutinar y adherir las partículas del pigmento sobre la superficie donde se aplica, se utilizan desde prehistoria donde se aplicaban las grasas, la leche, las resinas y gomas de algunos de los árboles de su entorno para fijar pigmentos de tizones y tierras coloreadas (García y Armiñana, s.f.).

Durango et al. (2019) destacan qué, para la creación de pellets de biomasa con residuos agrícolas, industriales, entre otros, se pueden utilizar aglutinantes como: almidón de maíz, almidón de plátano y almidón de yuca en porcentajes de 10 % a 30 %.

2.3.1 ALMIDÓN DE YUCA

Kolawole (2021) menciona que, el almidón de yuca es un agente aglutinante, debido a que tiene propiedades que la hacen actuar como aglutinante, espesante o emulsionante.

El almidón de yuca como aglomerante, presenta propiedades de cohesión alta para ciertos tipos de materiales, y económicamente es más accesible en relación con otros además de otros aglomerantes; la cantidad de adición recomendada bordea desde el 4 al 20 % (Fonseca y Tierra, 2011 citado por Briones y Chillán, 2019).

Según Kodji et al. (2022), mencionan que puede ser usado como aglutinante en la elaboración de pellets y briquetas realizando una mezcla con agua y sometida a un suave calentamiento hasta espesar la suspensión, después de lo cual está lista para mezclarse en las proporciones deseadas con los polvos de residuos de biomasa, las proporciones pueden variar entre 5, 10 y 20 %.

2.4 PARÁMETROS FÍSICOS

2.4.1 HUMEDAD

Es un parámetro de gran importancia en los pellets de biomasa, puesto que cuanto menor sea la humedad mayor será el poder calorífico y la eficiencia en la

combustión, reduciendo además la emisión de humos, en el caso de tener una humedad elevada se dará todo lo contrario, disminuirán el poder calorífico y la eficiencia en la combustión, aumentando la emisión de humos, en los pellets de madera certificados la humedad no deberá superar el 10 % sobre la masa total; para ello los productores deben secar la materia prima ya triturada (Hernández, 2019).

2.4.2 DENSIDAD

Es la cantidad de materia que hay en un determinado espacio, determinada en masa de una sustancia por unidad de volumen. La densidad es una propiedad física intensiva, es decir, es una característica de las sustancias que no depende de la cantidad de esta. Por ejemplo, si medimos la densidad de una cadena de oro será la misma que una medalla del mismo material, por eso, la densidad también sirve para identificar un material (Fernández, 2021).

Shojaeiarani et al. (2019) señalan que, en un biocombustible sólido la densidad aparente influye en la durabilidad mecánica, las características térmicas, así como en los costos de manipulación y almacenamiento. La densidad será dependiente del tipo de biomasa, contenido de humedad, el tamaño y la forma de las partículas de las que se compone el biocombustible sólido.

2.4.3 CENIZAS

La obtención del contenido en cenizas se considera un parámetro de gran importancia para obtener las condiciones necesarias para los suministros de combustibles, ya que se trata de un subproducto de la combustión que acaba como ceniza de fondo y debe eliminarse, la ceniza se puede depositar o se puede usar para la producción de otros productos (Blasco, 2018).

En concordancia Hernández (2019), indica que son generadas durante la combustión del biocombustible, y es clave para determinar la calidad de este, aunque también va a depender del equipo donde se quema el pellet, en condiciones de diseño óptimas, el porcentaje de cenizas sobre la masa total de pellets debe ser inferior al 0,7 %.

2.4.4 MATERIA VOLÁTIL

La determinación del contenido en volátiles de un combustible permite establecer su reactividad. El conocimiento del contenido en volátiles se emplea en el diseño de reactores para maximizar la eficiencia y permite realizar modelos de la transformación termoquímica del combustible (Soria, s. f.)

La materia volátil incluye los componentes del carbón, excepto el agua, que se libera a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, este análisis es una cuestión de seguridad y salud fundamental, ya que los carbones con un alto nivel de materias volátiles presentan un mayor riesgo de combustión espontánea (Sociedad General de Vigilancia SA, 2022).

2.4.5 CARBONO FIJO

El contenido en materia volátil se determina a través de la pérdida de masa, menos la que se debe a la humedad, cuando el biocombustible sufre un proceso de calentamiento sin estar en contacto con el aire bajo una serie de condiciones. Es de gran importancia controlar la velocidad de calentamiento, la temperatura y el tiempo de ensayo para obtener los resultados más confiables, ya que son ensayos experimentales y pueden verse afectados por cualquier parámetro (Blasco, 2018).

La Universidad de Kentucky (2023) detalla que, el carbono fijo es una medida de la cantidad de carbono no volátil que queda en una muestra de carbón, es el valor calculado determinado a partir de otros parámetros medidos en un análisis próximo, en lugar de una medición directa. El carbono fijo es el porcentaje calculado de material que se perdió durante la prueba de humedad, materia volátil y ceniza.

El carbono fijo es la parte no volátil que se encuentra en el crisol cuando se han determinado las materias volátiles, no es la resultante del peso del residuo, sino que se obtiene (Blasco, 2018).

2.4.6 TIEMPO DE COMBUSTIÓN

El Portal profesional del medio ambiente (2022) menciona que, por combustión se entiende el proceso mediante el cual se produce la quema de cualquier sustancia, ya sea gaseosa, líquida o sólida. En este proceso, el combustible se oxida y desprende calor, y, con frecuencia, luz. Dentro de la combustión interviene la ignición el cual es el valor de temperatura que debe presentar el sistema fisicoquímico para que se pueda dar la combustión de manera natural. El proceso termina cuando se consigue el equilibrio entre la energía de los compuestos que reaccionan y la de los productos de la reacción, con el punto de ignición se alcanza la temperatura de inflamación, activado por la energía de una chispa o por la llama de un fósforo.

2.4.7 DURABILIDAD

El Pellet Durability Index por sus siglas en inglés PDI, en castellano índice de durabilidad del pellet, es un patrón o parámetro de análisis físico y se fundamenta en la cantidad de pellets recuperados después de haber sido sometidos a una agitación bien sea mecánica o neumática, que simula el transporte y manejo del alimento peletizado en condiciones normales dentro de la Planta. Si se obtiene un PDI entre (92-95 % califica a un alimento durable de alta calidad) (Giral, 2022).

2.4.8 PODER CALORÍFICO

Es la cantidad de energía por unidad de masa que puede generar un combustible al producirse una reacción química de oxidación. Cabe recordar que la mayor parte de los combustibles tienen en su composición hidrógeno y carbono, al arder, estos compuestos se fusionan con el oxígeno, produciendo agua, dióxido de carbono y calor, este calor se transforma en energía (PRIMAGAS, 2019).

Hernández (2019) destaca que, la característica que más interesa al consumidor es la de tener garantías en el poder calorífico del biocombustible. Esta propiedad determinará la cantidad necesaria de biocombustible, el cual es indispensable que cumpla con un poder calorífico mínimo, siempre por encima de 4,6 kWh/kg, facilitando el cumplimiento de los rendimientos de diseño de los equipos.

2.5 DISEÑO DCA SIMPLEX-CENTROIDE

Es un diseño experimental que implica la mezcla de componentes en diferentes proporciones. La respuesta medida como resultado de estas mezclas depende del porcentaje o proporción de los diferentes ingredientes, cuando la cantidad de la mezcla tiene un efecto sobre la respuesta, la cantidad se mantiene fija para todas las mezclas. La respuesta cambia a medida que varía la proporción de los ingredientes. El objetivo del experimento de mezcla es obtener la proporción de ingredientes que producirá la mayor respuesta en el experimento y también comprender mejor el efecto de los ingredientes individuales. La proporción de los ingredientes mezclados debe ser no negativa y deben sumar la unidad (Omeje et al., 2022).

Las mezclas en el diseño del centroide simplex ocurren en igual proporción, este diseño no se puede utilizar para estimar el modelo cúbico completo, pero sí se puede estimar el cúbico especial, es la mezcla lineal que representa la respuesta esperada al componente puro, representa la mezcla ternaria entre los componentes (Cornell, 2002 citado por Omeje et al., 2022).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), Cantón Bolívar cabecera cantonal Calceta, con las coordenadas 0°49'35"S 80°11'11"O (Google Maps, 2023).

Gráfico 1. Ubicación del laboratorio de bromatología de la ESPAM MFL



Fuente. (Google Maps, 2023)

3.2 DURACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó durante 24 semanas después de su aprobación, empezando desde la primera semana de abril del año 2023 y culminando la última semana de septiembre del año 2023.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODOS

3.3.1.1 MÉTODO CUANTITATIVO

Este método permitió tener en cuenta los datos numéricos que se obtengan en el proceso de investigación, tales como; porcentajes, peso, cantidad etc. de los residuos a mezclar para la elaboración de los pellets.

3.3.1.2 MÉTODO DESCRIPTIVO

La utilización de este método se implementó para describir paso a paso cuáles son las actividades que se deben seguir en el proceso de investigación de las cantidades y de los parámetros que tiene en cada uno de los residuos para la elaboración de los pellets de biomasa.

3.3.1.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

El método experimental permitió realizar pruebas para encontrar el porcentaje de mezclas de los residuos idóneo que permita el aumento del poder calorífico de los pellets, además, de encontrar los parámetros fisicoquímicos que permitan que estos sean de muy buena calidad y prolonguen su vida útil, entre ellos parámetros como la humedad.

3.3.2 TÉCNICAS

3.3.2.1 TÉCNICAS DE LABORATORIO

➤ HUMEDAD.

La medición de humedad se realizó mediante las técnicas estipuladas por la normativa UNE-EN ISO 18134-1:2016.

➤ DENSIDAD

La medición de densidad se realizó mediante la técnica estipulada por la normativa UNE-EN ISO 17828:2016.

➤ CENIZAS

El análisis de cenizas se realizó mediante la técnica estipulada por la normativa UNE-EN ISO 18122:2016.

➤ MATERIAL VOLÁTIL

La determinación de material volátil se realizó mediante la técnica estipulada por la normativa UNE-EN ISO 18123:2016.

➤ CARBONO FIJO

La determinación de carbono fijo se realizó mediante la técnica estipulada por las normativas UNE-EN ISO 18134-1:2016, UNE-EN ISO 18122:2016, UNE-EN ISO 18123:2016 puesto que el resultado es una diferencia entre 100 y el contenido de humedad, cenizas y material volátil:

$$\% \text{ carbono fijo} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ materia volátil}) \quad [1]$$

➤ TIEMPO DE COMBUSTIÓN

Se empleó la técnica usada por Briones y Chillán (2019), en el cual se mide el tiempo de combustión en cada tratamiento. Se utilizó como iniciador de fuego una hornilla, con un peso de 100 gramos manteniendo una temperatura entre 125°C - 160°C. Se tomó el tiempo hasta el instante que en el pellet comience la combustión, se separaron los pellets del iniciador y se observó el tiempo de encendido, procediendo a contabilizar el tiempo de combustión total de los pellets.

➤ DURABILIDAD

El análisis de durabilidad se realizó mediante la adaptación de la técnica estipulada por la normativa UNE-EN ISO 17831-1:2016.

➤ PODER CALORÍFICO

La determinación de poder calorífico se realizó siguiendo la metodología empleada por Romero et al. (2021) quienes hacen uso de la ecuación de aproximación desarrollada por Parikh et al. (2005) en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Sardar Vallabhbhai, quienes determinaron que:

$$PCS = 0.3536CF + 0.1559MV - 0.0078ASH \text{ (MJ/kg)} \quad [2]$$

Donde:

PCS = Poder calorífico superior.

CF = Carbono Fijo

MV = Materia Volátil

ASH = Cenizas

3.4 COMPONENTES EN ESTUDIO

Los componentes en estudio dentro del trabajo fueron los siguientes:

Componente A: Porcentajes de borra de café

Componente B: Porcentajes de tallo de maíz

Componente C: Porcentajes de raquis de maíz

3.4.1 NIVELES

Componente A:

Nivel bajo: 0,0% Nivel alto: 1,0%

Componente B:

Nivel bajo: 0,0% Nivel alto: 1,0%

Componente C:

Nivel bajo: 0,0% Nivel alto: 1,0%

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño DCA Simplex-Centroide el cual estudió los efectos de tres componentes en veintidós corridas experimentales, en la tabla 1 se presenta el esquema del ANOVA.

Tabla 1. Tabla Anova

ESQUEMA ANOVA	
Fuentes de variación	GL
Total	21
Componente A	1
Componente B	1
Componente C	1
Interacción AXB	1
Interacción AXC	1
Interacción BXC	1
Error	15

Fuente. Los Autores

Los tres componentes con los que contó el diseño de mezclas simplex centroide fueron; borra de café, tallo y raquis de maíz, que tienen como restricciones niveles de porcentajes bajo y alto, además de la adición de almidón de yuca como aglutinante como se observa en la tabla 2, los mismos que fueron tomados en base al poder calorífico que contiene cada componente previamente estudiado bibliográficamente.

Tabla 2. Diseño experimental

COMPONENTES	BAJO	ALTO	UNIDADES
Borra de café	0	1	%
Tallo de maíz	0	1	%
Raquis de maíz	0	1	%
Almidón de yuca		0,1	%

Fuente. Los autores

El diseño aplicado cuenta con 8 variables de respuesta como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Variables respuesta

Respuestas	Unidades
Humedad	%
Densidad	g/cm ³
Cenizas	%
Durabilidad	%
Tiempo de Combustión	min
Materia Volátil	%
Carbono Fijo	%
Poder Calorífico	MJ/kg

Fuente. Los autores

3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental del estudio fueron 350g de pellets obtenidos de cada una de las formulaciones a las cuales se les realizó los análisis físicos. Cada una de estas formulaciones conto con 1000g de mezcla de subproductos de café y maíz en la tabla 4, las mezclas de los tres componentes (borra de café, tallo y raquis de maíz) abarcaron el 100 % de la formulación, a cada uno de los tratamientos se le incorporó como complemento 10 % de almidón de yuca, el cual no influye en los porcentajes, este aglutinante permitirá que los pellets se compacten de mejor manera.

Tabla 4. Formulación de los pellets

#T	Borra de café (%)	Tallo de maíz (%)	Raquis de maíz (%)	Almidón de yuca (%)
1	0,00	0,50	0,50	0,10
2	1,00	0,00	0,00	0,10
3	0,17	0,66	0,17	0,10
4	0,34	0,33	0,33	0,10
5	0,67	0,17	0,16	0,10
6	0,16	0,17	0,67	0,10
7	0,00	0,00	1,00	0,10
8	0,00	1,00	0,00	0,10
9	0,50	0,00	0,50	0,10
10	0,50	0,50	0,00	0,10
11	1,00	0,00	0,00	0,10
12	0,00	1,00	0,00	0,10
13	0,00	0,00	1,00	0,10
14	0,50	0,50	0,00	0,10
15	0,50	0,00	0,50	0,10
16	0,00	0,50	0,50	0,10
17	0,33	0,34	0,33	0,10
18	1,00	0,00	0,00	0,10
19	0,00	1,00	0,00	0,10
20	0,00	0,00	1,00	0,10
21	0,50	0,50	0,00	0,10
22	0,50	0,00	0,50	0,10

Fuente. Los autores

3.7 VARIABLES A MEDIR

Propiedades físicas; humedad (%), densidad (g/cm³), cenizas (%), tiempo de combustión (min), durabilidad (%) materia volátil (%), carbono fijo (%) y poder calorífico (MJ/Kg)

3.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO

La ejecución del trabajo de investigación se desarrolló en las siguientes fases:

3.8.1. Fase I.- Realizar los análisis físicos de los subproductos de café y maíz

Actividad 1. Obtención de los subproductos de café y maíz: Los subproductos de café se obtuvieron en la Compañía de Elaborados de Café EL CAFÉ C.A. del

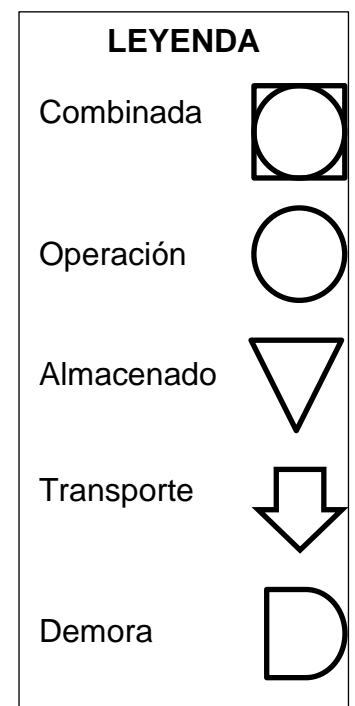
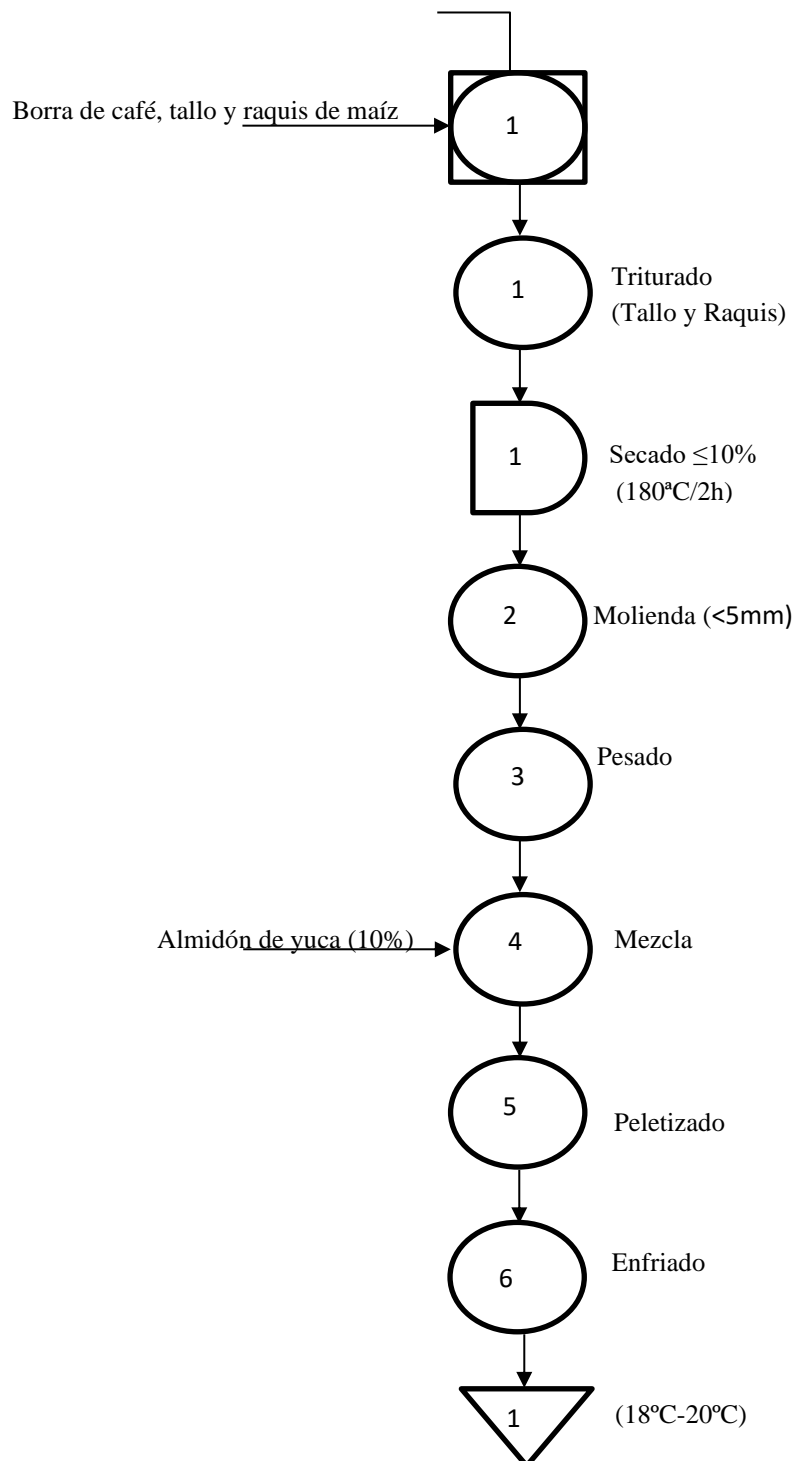
cantón Montecristi-Manabí, mientras que los subproductos del cultivo de maíz en el cantón Pichincha-Manabí.

Actividad 2. Caracterización de los parámetros físicos (humedad, densidad, cenizas) de los subproductos del café y maíz (borra de café, tallo y raquis de maíz).

3.8.2. Fase II.- Elaborar pellets con mezclas de los subproductos de café y maíz

Actividad 3. Elaboración de pellets: se realizó en una peletizadora artesanal mezclando la borra de café, tallo y raquis de maíz, además de ello se utilizó 10% de aglutinante (almidón de yuca), para tener una mejor compactación.

3.8.3 Diagrama de proceso en la elaboración de pellets de subproductos del café y maíz



3.8.4. Descripción del proceso de elaboración de los pellets de subproductos del café y maíz

Recepción de materia Prima

Se adquirió la borra de café proveniente de la Compañía “EL CAFÉ C.A” del cantón Montecristi-Manabí, mientras el tallo y raquis de maíz en el cantón Pichincha-Manabí (ver Anexo 1-3).

Triturado

Se realizó un triturado por separado a los subproductos de maíz (raquis y tallo) en una trituradora artesanal marca FERGUSON reduciendo el tamaño de su partícula. (ver Anexo 4).

Secado

La borra de café y los subproductos de maíz se sometieron a un secado en la estufa marca MEMMERT serie C403.1786 a 180°C por 2 horas, para reducir su humedad a ≤ 10 %.

Molienda

Se realizó una molienda por separado, tanto de la borra de café como de los subproductos de maíz en un molino industrial marca INMEGAR serie 290907 para facilitar su peletizado.

Pesado

Se pesó cada uno de los subproductos con relación a la formulación de mezcla antes estipulada en el diseño de mezclas con ayuda de una balanza digital (marca Century Tools).

Mezcla

Se realizó una mezcla manual de los subproductos de café y maíz previamente formulados y pesados, se le incorporó como aglutinante el almidón de yuca de

la marca comercial PRODICEREAL (lote 2211), previamente mezclado en agua caliente, para dar una mejor compactación en los pellets.

Peletizado

Mediante el uso de una peletizadora realizada artesanalmente se procedió a producir los pellets cilíndricos de 7 cm de longitud y 2,5 cm de circunferencia. (Ver anexo 5 y 6).

Enfriado

Se dejó enfriar los pellets obtenidos a temperatura ambiente por un tiempo de 30 minutos.

Almacenado

Se procedió a almacenar los pellets en empaques plásticos (funda ziploc con cierre hermético) en una bodega lejos de la luz solar y a temperatura de 18 - 20°C (ver anexo 7).

3.8.5. Fase III: Análisis físicos, análisis estadístico y análisis costo-beneficio de pellets de subproductos café y maíz.

Actividad 4. Pruebas físicas a los pellets: Concluido el proceso de elaboración de los pellets se obtuvo una muestra de cada mezcla, los mismos que fueron llevados al Laboratorio de bromatología de la ESPAM MFL para realizarle análisis de humedad, cenizas, densidad, durabilidad, tiempo de incineración, material volátil, carbono fijo y poder calorífico (ver Anexos 8-12).

Actividad 5. Análisis estadísticos: Una vez obtenidos los resultados se realizó el análisis estadístico en el programa Statgraphics Centurion 2016, para determinar cuál mezcla genera mayor poder calorífico en base a la estabilidad de la combustión.

Actividad 6: Análisis costo-beneficio: Se realizó un estudio costo-beneficio de la elaboración de pellets de mezcla centroide de borra de café, tallo y raquis de maíz (ver Tablas 8-15)

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis estadístico a través del programa Statgraphics Centurion 2016, en el que se aplicaron las siguientes pruebas:

- El análisis de varianza (ANOVA), permitió conocer si los factores influyen en las variables respuestas (ver Anexos 19-26).
- Se realizó una correlación entre dos variables para observar cómo se comporta el poder calorífico vs el tiempo de combustión y con ello determinar la mezcla óptima de la investigación (ver Gráfico 2)
- Se hizo la optimización de cada una de las variables dependientes, en el caso de las variables que se maximizaron están la densidad, durabilidad, materia volátil, carbono fijo, tiempo de combustión y poder calorífico, mientras que la que se minimización son humedad y cenizas (ver Tabla 7).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS PELLETS

En la tabla 5, se muestran los resultados de los análisis físicos realizados a los 22 tratamientos de pellets, donde se examinaron los parámetros de humedad, densidad, cenizas, durabilidad, carbono fijo, materia volátil, poder calorífico y tiempo de combustión.

Tabla 5. Resultados de los análisis físicos a los pellets

T	Humedad (%)	Cenizas (%)	Densidad (g/cm ³)	Durabilidad (%)	Carbono Fijo (%)	Materia volátil (%)	Poder calorífico (MJ/Kg)	T. de combustión (min)
1	20,34	1,46	0,50	90,28	0,05	73,23	11,43	67
2	5,25	2,15	1,00	87,00	32,56	60,04	20,86	64
3	28,24	2,20	0,67	88,89	5,43	64,13	11,90	123
4	19,59	2,07	0,95	99,81	4,66	73,67	13,12	155
5	28,15	1,70	0,80	97,13	2,25	67,89	11,37	145
6	27,57	2,09	0,74	87,28	1,97	68,38	11,34	141
7	15,35	1,30	0,57	63,23	8,25	75,10	14,62	69
8	11,98	8,38	0,71	96,75	5,03	74,61	13,35	93
9	20,22	1,59	0,51	79,11	4,50	73,69	13,07	139
10	24,57	3,68	0,80	89,54	1,04	70,71	11,36	150
11	9,91	2,32	0,95	93,84	14,54	73,24	16,54	84
12	11,62	7,16	0,71	97,55	7,00	74,22	13,99	87
13	13,74	1,30	0,47	80,25	9,93	75,03	15,20	63
14	25,60	4,75	0,91	83,14	0,38	69,26	10,90	163
15	10,30	2,72	0,67	87,86	4,66	74,32	13,21	143
16	22,26	1,88	0,54	70,27	3,55	72,31	12,51	77
17	25,03	1,96	0,69	97,20	2,48	70,53	11,86	114
18	10,39	2,63	1,00	99,80	13,05	73,92	16,12	108
19	12,32	8,90	0,67	97,02	5,85	72,93	13,37	103
20	16,96	1,35	0,57	54,96	6,88	74,81	14,09	66
21	26,64	5,11	0,87	67,25	0,46	67,79	10,69	180
22	16,38	1,85	0,63	89,13	6,93	74,84	14,10	139

Fuente. Los Autores

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La tabla 6, muestra el análisis de varianza para el modelo cúbico especial, indicando significancia estadística ($P_{\text{valor}} < 0,05$) para las siguientes variables: humedad, densidad, cenizas, durabilidad, tiempo de combustión, carbono fijo, poder calorífico. La variable correspondiente a materia volátil no presentó diferencia estadística significativa, puesto que su P_{valor} es $> 0,05$.

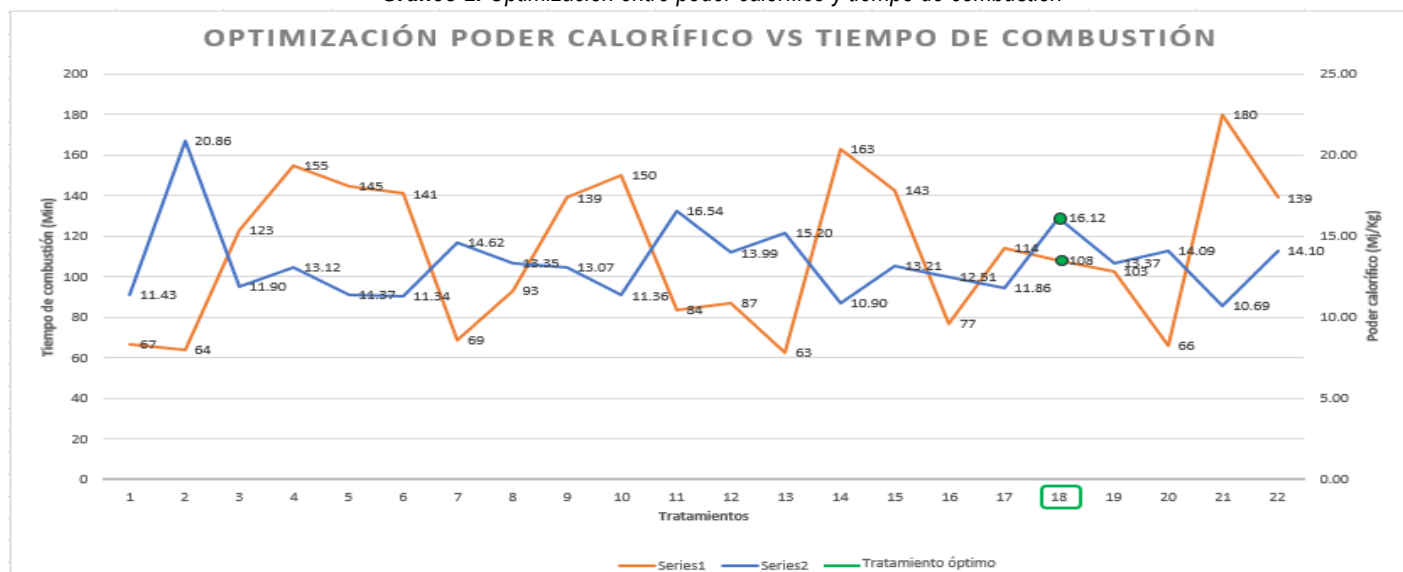
Tabla 6. Tabla anova de las variables dependientes.

ANOVA		
Componentes	Parámetro	Valor-P
Componente_A_BORRA	Humedad	0,0001
Componente_B_TALLO	Densidad	0,0000
Componente_C_RAQUIZ	Cenizas	0,0000
	Durabilidad	0,0024
	Tiempo de combustión	de 0,0000
	Materia volátil	0,3129
	Carbono fijo	0,0001
	Poder calorífico	0,0001

Fuente. Los Autores

4.2.1. OPTIMIZACIÓN ENTRE PODER CALORÍFICO Y TIEMPO DE COMBUSTIÓN

El gráfico 1, indica que en relación entre el poder calorífico y el tiempo de combustión la mezcla # 18 compuesta en 100% del factor A (borra de café) y con una humedad de 10,39% presenta la mejor estabilidad de la combustión con un poder calorífico de 16,12 MJ/Kg y un tiempo de combustión de 108 minutos.

Gráfico 2. Optimización entre poder calorífico y tiempo de combustión

Fuente: Los Autores

El poder calorífico encontrado es ligeramente menor al mínimo establecido por la normativa UNE-EN ISO 18125:2018 quien detalla que un pellet de biomasa debe tener un poder calorífico mínimo de 16,5 MJ/Kg.

El poder calorífico generado por la borra de café es mayor al de los otros factores en estudio, esto es debido a que “las características propias del café les confieren un 20 por ciento más de poder calorífico que incluso a muchas maderas y generan menos cenizas” (Energías Renovables, 2023)

Moreno et al. (2021) mencionan que, la borra de café es una fuente energética sostenible, y posee un poder calorífico elevado, presenta buenos rendimientos y se surge como un buen sustituto para estos combustibles tradicionales.

El largo tiempo de combustión es debido a una combustión lenta, en la que, Rivera y Flores (2019) destacan que, las combustiones lentas producen pocas emisiones de luz generando poca emisión de calor. Se suelen producir en lugares con poca emisión de calor y luz con un fuego intenso, si una combustión es muy rápida se puede producir una explosión en la cual se consideran combustiones instantáneas, ambos tipos de combustión.

La combustión lenta, tal como dice su nombre, consume paulatinamente el combustible, por lo que toma más tiempo en reducir el carburante, en llegar al clímax de calor y, en consecuencia, permite ser controlada a conveniencia. Este tipo de combustión suele ser el más ideal, ya que al estar en un espacio reducido y con control del oxígeno, aumenta eficazmente la duración del combustible y la capacidad de calor ideal. Además, según los tipos de biocombustible que se utilicen pueden alargar los tiempos de calor o incluso la capacidad calorífica que se producirá (Amesnti, 2020).

Kongto et al. (2022) destacan que el tiempo de combustión de un biocombustible sólido puede ser variable ya que se relaciona con la cantidad de materia volátil que contenga y a componentes químicos altamente reactivos (hemicelulosa, celulosa y algo de lignina) en las biomásas. Así como el entorno oxidativo donde se produce la ignición y la quema de los volátiles liberados.

Además, Andreassi et al. (2022) indican que la cantidad de ceniza residual que contenga el biocombustible sólido, junto con su tendencia a aglomerarse influirá directamente en la combustión modificando los ingresos de aire y derivando en errores de encendido por no permitir el contacto del pellet nuevo con el aire caliente proveniente de la resistencia de encendido.

4.2.2. OPTIMIZACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

En la tabla 8, se presentan los porcentajes necesarios de cada factor para alcanzar el valor óptimo en la minimización en las variables de humedad y cenizas, así mismo en las variables que se maximizan como la densidad, durabilidad, materia volátil, carbono fijo, tiempo de combustión y poder calorífico, estos valores pertenecen a los rangos determinados por Diseño Simplex-Centroide, y garantizan que un pellet elaborado con los valores porcentuales de borra de café, tallo y raquis de maíz tendrán estos valores óptimos en las variables antes mencionadas. La parte visual de cómo influyen cada componente en estudio para la determinación del valor óptimo se muestran en graficas de contornos de superficie respuesta en el cual cada extremo representa un componente, siendo el Factor A (Componente de borra de café), Factor B (Componente de tallo de maíz) y Factor C (Componente de tallo de Maíz). (ver Anexos 27-34).

Tabla 7. Optimización de variables dependientes

COMPONENT ES	VARIABLES							
	Humedad	Densidad	Cenizas	Durabilidad	Tiempo de Combustión	Materia Volátil	Carbono Fijo	Poder Calorífico
Componente A: Borra de café	1,00	1,00	0,00	0,38	0,49	0,72	1,00	1,00
Componente B: Tallo de maíz	0,00	0,00	0,24	0,30	0,51	0,28	0,00	0,00
Componente C: Raquis de maíz	0,00	0,00	0,76	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor óptimo	8,94	0,98	0,76	98,84	163,1	68,36	19,58	17,68

Fuente: Los Autores

4.2.2.1. OPTIMIZACIÓN DE HUMEDAD

Mediante el uso del 100 % de borra de café se optimiza una humedad 8,94 %, valor menor al máximo estipulado por la normativa UNE-EN ISO 18134-1:2016, misma que establece que los pellets de biomasa deben tener una humedad ≤ 10 . Beltrón et al. (2019) mencionan determinar un contenido de 9,88 % de humedad en pellets de cáscara de maní y tallo de maíz. Del mismo modo Villarroel y Macías (2020) indican que, se alcanzó un porcentaje 11,98 % de humedad en la en un biocombustible sólido hecho con la mezcla de cascarilla de arroz, polvillo, cuesco y aserrín.

Vargas (2018) señala que, el contenido de humedad de un pellet de biomasa puede estar determinado por la humedad inicial de la biomasa, así como la concentración de aglomerante, el cual influye directamente en el comportamiento de la humedad de los pellets.

4.2.2.2. OPTIMIZACIÓN DE DENSIDAD

Mediante el uso de 100 % de borra de café se obtiene un valor óptimo de densidad de $0,97 \text{ g/cm}^3$, valor superior al mínimo estipulado por la normativa UNE-EN ISO 17828:2016, la cual establece que los pellets de biomasa deben tener una densidad aparente mínima de $0,6 \text{ g/cm}^3$. He Fuenzalida (2022) indica que un pellet elaborado con huesos de aceituna tiene una densidad de $0,701 \text{ g/cm}^3$. Por su parte Shankar (2018) determinó una densidad media de $0,62 \text{ g/cm}^3$ en pellets hechos con rastrojos de maíz.

Los biocombustibles sólidos pueden tener densidades diferentes puesto que influye la materia prima empleada y la presión ejercida por la prensa, cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final donde la presión de compactación en el proceso de fabricación son variables, y depende únicamente de la maquinaria utilizada (Da Silva, 2013 citado por Villarroel y Macías, 2020).

4.2.2.3. OPTIMIZACIÓN DE CENIZAS

Mediante la mezcla de 24 % de tallo de maíz y 76 % de raquis de maíz se obtendrá un valor óptimo en cenizas de 0,76 %, valor que está dentro de lo

estipulado por la normativa UNE-EN ISO 18122:2016, misma que establece un máximo de cenizas en pellets de biomasa de $\leq 3,0$. Beltrón et al. (2019) reporta que las formulaciones de pellets de cáscara de maní y tallo de maíz contiene un porcentaje de ceniza de 9,49 %. Villarroel y Macías (2021) en su investigación reporta un valor de 4,69 % de cenizas en un biocombustible sólido a base cascarilla de arroz, polvillo, cuesco y aserrín.

Rodríguez et al. (2022) señalan que el contenido de cenizas depende de las condiciones de cultivo y composición de la biomasa, además de otros factores relacionados con el manejo, almacenamiento y transporte. La ceniza es considerada con un alto peso para correlacionar al poder calorífico debido a que puede sobreestimar o subestimar de manera significativa.

4.2.2.4. OPTIMIZACIÓN DE DURABILIDAD

La optimización señala que mediante la mezcla de 38 % de borra de café, 30 % de tallo de maíz y 32 % de raquis de maíz se obtendrá 98.84 % de durabilidad mecánica valor mayor al mínimo estipulado por la normativa UNE-EN ISO 17831-1:2016, misma que establece una durabilidad mínima de $\geq 97,0$. Este resultado es similar al reportado por Durango et al (2019) quien reporta una durabilidad mayor a 97,95 % en pellets fabricados a partir de fibra de coco y residuos de algodón. He Fuenzalida (2022) señala que un pellet elaborado con huesos de aceituna tiene una durabilidad de 97,83 %.

Las variaciones entre la durabilidad del pellet están relacionadas a factores como la humedad, el tipo de aglutinante, la presión y el tamaño de las partículas que interfieren con el proceso de peletización, provocando variaciones en la estructura interna del material, y por ende fisuras y alta variabilidad de densidad, lo que afecta la durabilidad y calidad final, ya que las reducciones de densidad están asociadas a grietas y, en consecuencia, puntos de rotura o ruptura del pellet (Surdi et al., 2021).

4.2.2.5. OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO DE COMBUSTIÓN

Mediante el uso del 49 % de borra de café y 51 % de tallo de maíz se logra obtener un tiempo de combustión óptimo de 163 minutos Este resultado es

superior al reportado por Briones y Chilán (2019) quienes detallan un tiempo de 70 min de combustión en biocombustibles sólidos de residuos de maíz. Andreassi et al. (2020) detallan un tiempo de combustión de 57 min en pellet de fuste y 57 min en pellet de Acícula respectivamente esto con humedades inferiores al 10%. Del mismo modo Huaman et al. (2021) señalan que biocombustible sólido de segunda generación elaborado con una mezcla de bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y aglutinante de papa, mismas que tuvo un promedio de combustión de 56 minutos con 16 segundos.

Barrera et al. (2018) mencionan que el tiempo de combustión es un proceso termoquímico vital para la generación de la energía térmica, mismo que está determinado por variables como la humedad, el contenido de cenizas y el poder calorífico de la biomasa lo cual determinan la eficiencia final de la combustión. Dado que la humedad está directamente relacionada con el poder calorífico, mantener un control adecuado de esta variable garantizará mayor entrega de energía en la combustión de la biomasa.

4.2.2.6. OPTIMIZACIÓN DE CARBONO FIJO

Por medio del uso del 100 % de borra de café se obtiene un valor óptimo de Carbono fijo de 19,58 %, el resultado es cercano al reportado por Beltrón et al. (2019) quien detalla datos de 15,37 % a 23,80 % de carbono fijo en formulaciones de pellets de cáscara de maní y tallo de maíz. Romero et al. (2021) detallan $10,99 \pm 0,81$ % de carbono fijo en pellets de biomasa lignocelulósica de la palma africana. De igual modo Ponce et al. (2020) reportan obtener $23,51 \pm 0,72$ % de carbono fijo en pellets de paja de arroz.

El carbono fijo está directamente relacionado con el contenido de humedad, materia volátil y cenizas por lo que su contenido dependerá de cómo se comporten estas variables dentro del combustible. Jia (2021) señala que los biocombustibles con un alto contenido de carbono fijo pasarán por dos fases de combustión (las fases de combustión de materia volátil y carbono fijo). Al quemar brasas con la materia volátil, se enciende el carbón fijo, esto demuestra que el carbón fijo requiere una temperatura más alta para encenderse en comparación con la materia volátil.

4.2.2.7. OPTIMIZACIÓN DE MATERIA VOLÁTIL

Se encontró un valor óptimo de 68,36 % de materia volátil, mediante la mezcla de 72 % de borra de café y 28 % de tallo de maíz. El valor es menor al reportado por Beltrón et al. (2019) quienes reportaron un máximo de 69,55 % de materia volátil en formulaciones de pellets de cáscara de maní y tallo de maíz. Romero et al. (2021) determinaron $84,57 \pm 0,39$ % de materia volátil en pellets de biomasa lignocelulósica de la palma africana. Del mismo modo Ponce et al. (2020) indican que en formulación de pellets con 75 % de cáscara de piñón y 25 % de paja de arroz contiene al $82,37 \pm 2,0$ % de materia volátil. No obstante, el valor encontrado es inferior al detallado por Blasco (2018) quien reporta un promedio de materia volátil de 94,68 en la borra de café.

Beltrón et al. (2019) indican que aquellos biocombustibles con un alto porcentaje de volatilidad (<50 %), permitirá que los pellets elaborados ardan con gran facilidad, consiguiendo temperaturas elevadas durante el proceso de combustión y generen una llama de mayor longitud.

4.2.2.8. OPTIMIZACIÓN DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR

La optimización mediante el uso de 100 % de borra de café los análisis resultan en 17,68 MJ/Kg, valor mayor al mínimo establecido por la normativa UNE-EN ISO 18125:2018 la cual establece que un pellet de biomasa debe tener un poder calorífico mínimo de 16,5 MJ/Kg.

Paredes (2019) en su investigación detalla que en un biocombustible sólido de segunda generación a partir de los residuos del café molido y pasado tiene 19.8 MJ/kg. Del mismo modo, nuestro resultado es inferior al obtenido por Vargas (2018) quien reporta obtener 21,95 MJ/Kg, 23,53 MJ/Kg y 22,47 MJ/Kg en pellets de borra de café utilizado glicerina, aceite de palma y biodiesel como aglomerante respectivamente.

Vargas (2018) detalla que el poder calorífico estará definido por el contenido de cenizas y humedad de la muestra. Respecto al contenido de cenizas, en algunas ocasiones (procesos termoquímicos) disminuyen el poder calorífico porque requieren mayor energía para la descomposición térmica de los compuestos

inorgánicos que las conforman. Por otro lado, se puede afirmar que el poder calorífico aumenta cuando las muestras analizadas tienen un menor porcentaje de humedad, así como el tipo de aglutinante usado durante la peletización.

4.3. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO POR KG DE PELLETS

En la tabla 11, se presenta el valor unitario de fabricación por kg de pellets de la mezcla centroide, que es de \$ 0,51, en la tabla 14, se presenta el beneficio de \$ 0,10 que se obtendrá por cada kg de pellets elaborado, mientras que en la tabla 15, el precio de venta sugerido que es de \$ 0,61, con un poder calorífico de 13,12 MJ/Kg.

Tabla 8. Precio total de materia prima

MATERIA PRIMA PELLETS DE 1KG				
Detalle	%	Cantidad (kg)	Precio del insumo (\$/kg)	Precio total de insumos para producción (\$)
Borra	33,33	0,33	0,25	0,08
Almidón de yuca	5,00	0,05	1,70	0,09
Agua potable	5,00	0,05	0,00	0,00
Tallo	33,33	0,33	0,10	0,03
Raquis	33,33	0,33	0,10	0,03
Total	100	1,1		
Merma	10	0,1		
VALOR SUBTOTAL				\$ 0,23
TOTAL, PRODUCTO			1	

Fuente: Los Autores

Tabla 9. Gastos de fabricación de pellets

GASTOS DE FABRICACIÓN				
Detalle	Cantidad	Unidad	Costo/Und	Costo/Parada
Molino	1	Und	\$ 0,03	\$ 0,03
Picadora	1	Und	\$ 0,02	\$ 0,02
VALOR SUBTOTAL				\$ 0,05

Fuente: Los Autores

Tabla 10. Costo de mano de obra

MANO DE OBRA					
Técnico/Operario	Sueldo/ mensual	Sueldo/ diario	Sueldo/ hora	Sueldo/min	Sueldo / 5 min de fabricación x kg
1	\$ 534,00	\$ 21,36	\$ 2,67	\$ 0,045	\$ 0,223

*Fuente: Los Autores***Tabla 11.** Costo de producción unitario

Costo de Producción Unitario		
CPU= CP/UP		
CPU=	\$	0,51

*Fuente: Los Autores***Tabla 12.** Costo de producción

Costo de Producción		
Cp= MP+MO+GF		
CP=	\$	0,51

*Fuente: Los Autores***Tabla 13.** Precio de venta al público

Precio de venta al público		
PVP=CPU*20% de utilidad		
PVP=	\$	0,61

*Fuente: Los Autores***Tabla 14.** Costo beneficio del kg de pellets

Costo Beneficio		
CB= PVP-CPU		
CB=	\$	0,10

*Fuente: Los Autores***Tabla 15.** Precio de venta sugerido

PVP sugerido	\$	0,61
--------------	----	-------------

Fuente: Los Autores

Arnabat (2023) menciona que el precio del pellet de biomasa en España es de \$ 0,73 por Kg mismo que tiene un poder calorífico de 17,16 MJ/Kg. Por lo que, comparando el precio y el poder calorífico en ambos pellets, el pellet comercial resulta tener mejores beneficios, no obstante, es importante recalcar que la muestra centroide a la cual se le comparó el poder calorífico con el pellet español contenía humedad superior al 10 % por lo que si se redujera el contenido de humedad el poder calorífico será mayor, además de ello tiene un precio inferior y su tiempo de combustión es de 155 min.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En base a los resultados obtenidos en la caracterización de los pellets de subproductos de café y maíz se encontró que la humedad influye directamente en el poder calorífico final del pellet, ya que mientras mayor sea ésta, el poder calorífico será menor; además, el componente de mejor incidencia en las variables estudiadas fue la borra de café.
- La formulación que generó mayor poder calorífico en base a la estabilidad de combustión estuvo compuesta en su totalidad de borra de café y aglutinante, la cual con una humedad de 10,3905 % generó un poder calorífico de 16,1187 MJ/Kg y un tiempo de combustión de 108 minutos.
- El análisis de costo beneficio en la producción de un Kg de pellets elaborado en mezclas de igual proporciones de los tres componentes en estudio, determinó un costo de producción de \$0,51 y un costo de venta sugerido de \$0,61, dando un beneficio de \$0,10 a los autores.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para obtener mayor poder calorífico en pellets utilizar porcentajes mayores de borra de café y como complemento en menor cantidad los residuos de maíz.
- Trabajar con humedades cercanas al 10% puesto que, esta variable influye considerablemente en el aumento del poder calorífico en pellets de biomasa.
- Realizar los pellets de biomasa en peletizadoras industriales para reducir el tiempo de fabricación y con ello, disminuir los costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, L. y Bello, L. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952018000700967&lng=es&tlng=es.
- AMESTI. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre la Combustión Lenta*.
<https://amesti.cl/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-combustion-lenta/>
- Andreassi, L., Douat, G., Salvare, F., y Capitanich, A. (2022). Caracterización y uso de biocombustibles elaborados con fines domésticos a partir de residuos forestales de *Pinus ponderosa* en Bariloche, Argentina. *Ciencia E Investigación Forestal*, 28(3), 33–50. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.571>
- Arnabat, I. (2020). *Pellets como biocombustible ¿qué son y para qué se utilizan?* *Caloryfrio*. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/biocombustibles-pellets.html>
- Arnabat, I. (2023). *Precio del pellet en España 2023 ▷ bajan los precios el primer trimestre*. *caloryfrio.com*. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/precios-especiales-en-sacos-de-pellets.html#precio-bolsa-pellets>
- Asociación de Empresas de Energía Renovables. (2022). *¿Qué es la biomasa?* *APPA Renovables*. <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad a granel* (UNE-EN ISO 17828:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-17828-2016-n0057270>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa* (UNE-EN ISO 18134-1:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-18134-1-2016-n0056325>

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de ceniza* (UNE-EN ISO 18122:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-18122-2016-n0056486>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido en materia volátil* (UNE-EN ISO 18123:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-18123-2016-n0056450>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Biocombustibles sólidos. Determinación de la durabilidad mecánica de pellets y briquetas* (UNE-EN ISO 18125:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057456>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico* (UNE-EN ISO 18125:2018). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-18123-2016-n0056450>
- Ballesteros, Y. (2021). *Residuos de la producción de café: una alternativa sostenible. Perfect Daily Grind Español*. <https://perfectdailygrind.com/es/2021/06/24/residuos-de-la-produccion-de-cafe-una-alternativa-sostenible/>
- Barrera, J., Ramírez, N., y García Núñez, J. (2018). Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite. *Palmas*, 39(4), 24–44. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12709>
- Beltrón, I., Palacios, H., y Delgado, R. (2018). Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica. *RIEMAT*, 4(2), 6. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2192>
- Blasco, C. (2018). *Evaluación De Los Recursos Agrícolas Para Su Valorización Energética En Calderas Spouted Bed Reactors* [Tesis de Grado, Universidad de Valencia].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/98729/Blasco%20Soler%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20los%20recursos%20agr%C3%ADcolas%20para%20su%20valorizaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20en%20calderas%20Spouted%20Bed%20Reactors.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Briones, D. J. y Chilán, G. M. (2019). *Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de los residuos de maíz (zea mays) en la comunidad san miguel de tres charcos*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1216/1/TTMA83.pdf>

Butzen, S., Tiffany, C. y Goebe, D. (2022). *CORTEVA. Gestión de los residuos en la producción de maíz*. <https://www.corteva.es/agronomia-y-servicios/informacion-agronomica/gestion-de-los-residuos-en-la-produccion-de-maiz.html>

Cabrera, C. (2018). “*EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ (Zea mays), PARA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO EN EL CANTÓN GUANO*”. [Tesis De Grado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10457/1/236T0391.pdf>

Domínguez, S. y Loor, K. (2018). *Uso de los residuos del cultivo de maíz (zea mays), como alternativa sostenible para la elaboración de bloques, parroquia Boyacá* [Tesis de Grado, Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/837>

Duncan, L. (2018). *What Goes Around: How Coffee Waste Is Fueling a Circular Economy*. *Daily Coffee News by Roast Magazine*. https://dailycoffeenews.com.translate.google/2018/10/09/what-goes-around-how-coffee-waste-is-fueling-a-circular-economy/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc

Durango, E, Berastegui, C, y Mendoza, J. (2019). El efecto de la adición de aglomerantes sobre la durabilidad (PDI) de los pellets de biomasa. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(1), 83-88. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000100083>

- ENERGÍAS RENOVABLES. (2023). *Bioenergía - Pélets de posos de café: veinte por ciento más poder calorífico que la madera - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias*. <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/pelets-de-posos-de-cafe-veinte-por-20170215>
- Fernández, A. (2021). *Densidad: qué es, cómo se mide, tipos y ejemplos. Toda Materia*. <https://www.todamateria.com/densidad/>
- Franca, A., y Oliveira, L. (2022). Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry. *Foods*, 11(14), 2064. <https://doi.org/10.3390/foods11142064>
- García, A. y Armiñana, J. (s. f.). *Aglutinantes pictóricos y sustancias coadyuvantes. Universidad de Murcia*. <https://www.um.es/documents/4874468/10241949/u.t.-7.-aglutinantes-pictoricos-y-sustancias-coadyuvantes.pdf/9d5e1cc7-e49d-4286-8959-2ce487a6991d>
- Giral, F. (2022). *Índice De Durabilidad Del Pellet (PDI) Un Indicador De Calidad. ABC Avícola*. <https://www.abcavicola.com/post/indice-de-durabilidad-del-pellet-pdi-un-indicador-de-calidad>
- Gómez, A. y Pérez, A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967
- Google Maps. (2021). *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Google Maps*. https://www.google.com/maps/place/Escuela+Superior+Polit%C3%A9cnica+Agropecuaria+de+Manab%C3%AD/@-0.8264809,-80.1885211,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x902ba158206f78e9:0x39852a97adad4637!8m2!3d-0.8264809!4d-80.1863324!16s%2Fg%2F11cjh_894g
- He Fuenzalida, C. (2022). *Evaluación a la fabricación industrial de pellet a base de residuos generados de la planta productora de aceite de oliva Siracusa S.A.* [Tesis de Grado, Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería]. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12934>
- Hernández, F. (2019). *Cómo podemos medir la calidad del pellet de madera. Apropellets*. <https://www.apropellets.com/como-podemos-medir-la-calidad-del-pellet-de-madera/>

- Huamán, H., Ramírez, M., & Surichaqui, R. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja – 2021*. [Tesis de grado, Universidad Continental de Huancayo]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf
- Jia, Y., Li, Z., Wang, Y., Wang, X., Lou, C., Xiao, B., y Lim, M. (2021). Visualization of Combustion Phases of Biomass Particles: Effects of Fuel Properties. *ACS Omega*, 6(42), 27702-27710. 10.1021/acsomega.1c02783.
- Kannah, J. (2020). *What Happens To Coffee Grounds After They're Used? Perfect Daily Grind*. https://perfectdailygrind.com.translate.google/2020/09/what-happens-to-coffee-grounds-after-theyre-used/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc
- Kodji, E., Tize, J., Awono, A., y Djoulde, R. (2022). Accessibility and effects of binder types on the physical and energetic properties of ecological coal. *Heliyon*, 8(11),. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11410>
- Kolawole, B. (2021). *Is Cassava Flour a Binding Agent - Jeb Foods*. *Jeb Foods*. https://jebfoods-com.translate.google/is-flour-a-binding-agent-cassava-flour/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc
- Kongto, P., Palamanit, A., Ninduangdee, P., Singh, Y., Chanakaewsomboon, I., Hayat, A., y Wae-Hayee, M. (2022). Intensive exploration of the fuel characteristics of biomass and biochar from oil palm trunk and oil palm fronds for supporting increasing demand of solid biofuels in Thailand. *Energy Reports*, 8, 5640–5652. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.04.033>
- Lesme, R., Martillo, J. y Oliva, L. (2020). Estudio de la gasificación de la tusa del maíz para la generación de electricidad. *Ingeniería Mecánica*, 23(3), 1815-5944. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181559442020000300008&lng=es&tlng=es.
- Martillo, A., Lesme, J., Oliva, L., Martínez, A, y Silva, E. (2019). Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Tecnología Química*, 39(3), 655-672. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000300655&lng=es&tlng=es.

- Morales, L. (2020). *Valorización De Los Residuos De Café Tostado Y Molido (Borra De Café), Generados En El Campus Central De La Universidad De El Salvador* [Tesis de Grado, Universidad De El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/22757/1/TDG%20David%20P%C3%A9rez,%20Luis%20Miguel%20Morales.pdf>
- Moreno, C., Chamarraví, O., Navarro, E., y Jiménez, M. (2021). Panorama internacional del uso de la borra de café como biocombustible sólido. Revisión de estudios a nivel mundial. *Gestión Y Ambiente*, 24(2), 95261. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.95261>
- Omeje, L., Eze, L., y Ngonadi, L. (2022). Elección de Criterios de Optimalidad para el Diseño Centroide Simplex. *Revista Internacional de Publicaciones y Reseñas de Investigación*, 3(11), 2582-7421. <http://www.ijrpr.com/>
- Paredes, G. (2019). *Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación*. [Tesis de Grado, Universidad Central Del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19242/1/T-UCE-0017-IQU-048.pdf>
- PARLAMENTO EUROPEO. (2018). *DIRECTIVA (UE) 2018/2001. Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>
- Ponce, W., Rosero, E., La Torre, G., Zambrano, I., Zambrano, C., y Viteri, A. (2020). *Aprovechamiento de cáscara de piñón (Jatropha curcas L.) y paja de arroz (Oriza sativa L.) para la elaboración de pellets como biocombustible. La Técnica*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5599/1/iniapeppdf86.pdf>
- Ponce, W., Zambrano, C., Zambrano, I., Viteri, A., y Zambrano, E. (2020). *Biocombustibles sólidos (pellets) a partir de cáscara de piñón (Jatropha curcas L.) y paja de arroz (Oryza sativa L.) Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5506>
- Portal profesional del medio ambiente. (2022). *La combustión como proceso de transformación energética*. Ambientum. https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/articulos-energia/la_combustion.asp

- PRIMAGAS. (2019). *¿Qué es el poder calorífico?* Primagas. <https://www.primagas.es/blog/que-es-poder-calorifico>.
- Rivera, H., y Flores, D. (2019). *Propiedades energéticas de briquetas, a base de aserrín de pino durante la combustión, Estelí, Nicaragua periodo 2018-2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/11448/>
- Rodríguez, A. (2020). *¿Qué es la Biomasa y cómo funciona?* Caloryfrio. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/que-es-la-biomasa-y-como-funciona.html>
- Rodríguez, L., Gutiérrez, A., García, J., y Feregrino, A. (2022). Estudio comparativo de modelos matemáticos para predecir el poder calorífico de residuos agrícolas mexicanos. *Tecnológicas*, 25(53), 1-17. <https://doi.org/10.22430/22565337.2142>
- Romero, M., Palacios, K., Rosero, E., y Latorre, G. (2021). Optimización de las propiedades mecánicas y estructurales de biocombustibles sólidos a partir de biomasa lignocelulósica. *Revista Científica Ingeniar*, 4(8), 144–156. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0032>
- Shankar, J. (2018). Effect of pellet die diameter on density and durability of pellets made from high moisture woody and herbaceous biomass. *Carbón Resources Conversion*, 1(1), 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.06.002>
- Shojaeiarani, J., Bajwa, DS y Bajwa, SG (2019). " Propiedades de los biocombustibles sólidos densificados en relación con la composición química, el contenido de humedad y la densidad aparente de la biomasa ". *BioRes.* 14(2), 4996-5015. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/properties-of-densified-solid-biofuels-in-relation-to-chemical-composition-moisture-content-and-bulk-density-of-the-biomass/#:~:text=The%20moisture%20content%20influences%20the,storage%20costs%20of%20solid%20biofuels>.
- Skorupa, A., Worwąg, M., y Kowalczyk, M. (2022). Coffee Industry and Ways of Using By-Products as Bioadsorbents for Removal of Pollutants. *Water*, 15(1), 112. <https://doi.org/10.3390/w15010112>

- Sociedad General de Vigilancia SA. (2022). *Análisis aproximados y avanzados. SGS América Latina*. <https://www.sgs-latam.com/es-es/mining/analytical-services/coal-and-coke/proximate-and-ultimate-analysis>
- Soria, A. (s. f.). *Análisis termogravimétrico: carbono fijo (UNE-EN 14774-1, UNE-EN 15248, UNE-EN 14775) | ISE Research Group. Energy System Engineering*.
[https://ise.uc3m.es/biolab/tgacarbonofijo/#:~:text=ISE%20Research%20Group,An%C3%A1lisis%20termogravim%C3%A9trico%3A%20carbono%20fijo%20\(UNE%2DEN%2014774%2D1,15248%2C%20UNE%2DEN%2014775\)&text=La%20determinaci%C3%B3n%20del%20contenido%20en,de%20combusti%C3%B3n%20de%20part%C3%ADculas%20combustibles](https://ise.uc3m.es/biolab/tgacarbonofijo/#:~:text=ISE%20Research%20Group,An%C3%A1lisis%20termogravim%C3%A9trico%3A%20carbono%20fijo%20(UNE%2DEN%2014774%2D1,15248%2C%20UNE%2DEN%2014775)&text=La%20determinaci%C3%B3n%20del%20contenido%20en,de%20combusti%C3%B3n%20de%20part%C3%ADculas%20combustibles)
- Soria, A. (s. f.). *Análisis termogravimétrico: volátiles (UNE-EN 15148) | ISE Research Group. Energy System Engineering*.
<https://ise.uc3m.es/biolab/tga-volatiles/>
- Stein, Z. (2023). *What Are Wood Pellets? | Definition, Production, Uses, Pros & Cons. Carbon Collective Investing LLC*.
<https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/wood-pellets#:~:text=Wood%20pellets%20are%20considered%20cleaner,only%20recycles%20wood%20waste%20products.>
- Surdi, P., Faullen, H., Resende, V., Vinha, A., Zanuncio, J., Da Silva, M., Rodrigues, F., De Cássia, A., Gominho, J., & De Oliveira Araújo, S. (2021). *Quality of Pinus sp. pellets with kraft lignin and starch addition. Scientific Reports, 11(1)*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78918-7>
- Termosun Energías S.L. (2022). *Los biocombustibles sólidos para calderas de biomasa. TERMUSUN*. <https://www.termosun.com/noticias-biomasa/biocombustibles-solidos/#None>
- Universidad de Kentucky. (2023). *Fixed Carbon in Coal (Part of Proximate Analysis), Coal Analysis, Kentucky Geological Survey, University of Kentucky. Servicio Geológico de Kentucky*. https://www-uky-edu.translate.goog/KGS/coal/coal-analyses-fixed-carbon.php?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc
- Uzcátegui, C. (2018). *Diseño de un modelo de negocios para la introducción de pellet en los asaderos de pollos dentro del distrito metropolitano de Quito [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador]*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15780>

- Vargas, A. (2018). *Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/68833/Tesis%20de%20maestr%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Venegas, A., Carrasco, J. y Aguirre, C. (2018). *Manejo de rastrojos del cultivo de Maíz*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6735/Bolet%c3%adn%20INIA%20N%c2%b0%20385?sequence=1&isAllowed=y>
- Villarroel, J., y Macías, J. (2021). Biocombustible Sólido A Partir De Residuos Que Generan Los Procesos Agroindustriales Del Sector El Empalme. *Ingeniería E Innovación*, 8(22), 1-13. <https://doi.org/10.21897/23460466.2333>
- Zambrano, C. (2021). *“Oportunidades de economía circular con residuos del cultivo de maíz (Zea Mays) en la zona norte de la provincia de Los Ríos”* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6609>

ANEXOS

Anexo 1. Recepción de borra de café



Fuente: Los autores

Anexo 2. Recepción de tallo de maíz



Fuente: Los autores

Anexo 3. Recepción de raquis de maíz



Fuente: Los autores

Anexo 4. Picado de materias primas



Fuente: Los autores

Anexo 5. Peletizado mezcla 1



Fuente: Los autores

Anexo 6. Peletizado mezcla 2



Fuente: Los autores

Anexo 7. Pellets de biomasa



Fuente: Los autores

Anexo 8. Análisis de cenizas



Fuente: Los autores

Anexo 9. Análisis de tiempo de combustión



Fuente: Los autores

Anexo 10. Análisis de carbono fijo



Fuente: Los autores

Anexo 11. Análisis de materia volátil



Fuente: Los autores

Anexo 12. Desechado de muestras



Fuente: Los autores

Anexo 13. Norma española para densidad

Anexo 14. Norma española para humedad

norma
española

UNE-EN ISO 17828

Octubre 2016

TÍTULO	<p>Biocombustibles sólidos</p> <p>Determinación de la densidad a granel</p> <p>(ISO 17828:2015)</p> <p><i>Solid biofuels. Determination of bulk density. (ISO 17828:2015).</i></p> <p><i>Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad volumétrica aparente. (ISO 17828:2015).</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 17828:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 17828:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 15103:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT.

norma
española

UNE-EN ISO 18134-1

Marzo 2016

TÍTULO	<p>Biocombustibles sólidos</p> <p>Determinación del contenido de humedad</p> <p>Método de secado en estufa</p> <p>Parte 1: Humedad total</p> <p>Método de referencia</p> <p>(ISO 18134-1:2015)</p> <p><i>Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 1: Total moisture. Reference method. (ISO 18134-1:2015).</i></p> <p><i>Biocombustibles sólidos. Diseño de la muestra en humedad. Método de séchage à l'étuve. Partie 1: Humidité totale. Méthode de référence. (ISO 18134-1:2015).</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 18134-1:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 18134-1:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 14774-1:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité 1 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT, dentro del AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> .

Anexo 15. Norma española para durabilidad

Anexo 16. Norma española para cenizas

norma
española

UNE-EN ISO 17831-1

Noviembre 2016

TÍTULO	<p>Biocombustibles sólidos</p> <p>Determinación de la durabilidad mecánica de pélets y briquetas</p> <p>Parte 1: Pélets</p> <p>(ISO 17831-1:2015)</p> <p><i>Solid biofuels. Determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Part 1: Pellets. (ISO 17831-1:2015).</i></p> <p><i>Biocombustibles sólidos. Determinación de la resistencia mecánica de granulos y de briquetas. Parte 1: Granulos. (ISO 17831-1:2015).</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 17831-1:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 17831-1:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 15210-1:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT.

norma
española

UNE-EN ISO 18122

Abril 2016

TÍTULO	<p>Biocombustibles sólidos</p> <p>Determinación del contenido de ceniza</p> <p>(ISO 18122:2015)</p> <p><i>Solid biofuels. Determination of ash content. (ISO 18122:2015).</i></p> <p><i>Biocombustibles sólidos. Método de determinación de la ceniza en carbón. (ISO 18122:2015).</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 18122:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 18122:2015.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 14775:2010.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité 1 <i>Biocombustibles sólidos</i> cuya Secretaría desempeña CIEMAT, dentro del AEN/CTN 164 <i>Biocombustibles sólidos</i> .

Anexo 17. Norma española para materia volátil

UNE-EN ISO 18123

norma española

Abril 2016

TÍTULO **Biocombustibles sólidos**

Determinación del contenido en materia volátil
(ISO 18123:2015)

Solid biofuels. Determination of the content of volatile matter (ISO 18123:2015).
Biocombustibles sólidos. Método de determinación de la materia en materia volátil (ISO 18123:2015).

CORRESPONDENCIA Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 18123:2015, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 18123:2015.

OBSERVACIONES Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 15148:2010.

ANTECEDENTES Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité 1 *Biocombustibles sólidos* cuya Secretaría desempeña CIEMAT, dentro del AEN/CTN 164 *Biocombustibles sólidos*.

Anexo 18. Norma española para poder calorífico

Norma Española
UNE-EN ISO 18125
Julio 2018

UNE
Normalización Española

Biocombustibles sólidos
Determinación del poder calorífico
(ISO 18125:2017)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 164 *Biocombustibles sólidos*, cuya secretaría desempeña CIEMAT.


Anexo 19. Anova humedad

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Cúbico Especial	6	0,0001
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 20. Anova densidad

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Cúbico Especial	6	0,0000
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 21. Anova cenizas

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Cúbico Especial	6	0,0000
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 22. Anova durabilidad

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Cúbico Especial	6	0,0024
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 23. Anova tiempo de combustión

Fuente	Gl	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	6	0,0000
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 24. Anova tiempo de materia volátil

Fuente	Gl	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	6	0,3129
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 25. Anova carbono fijo

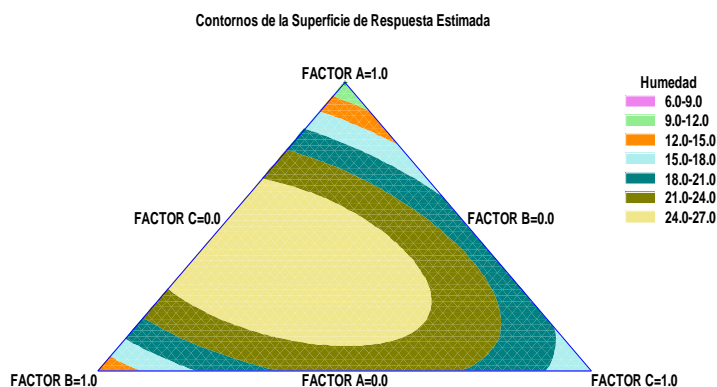
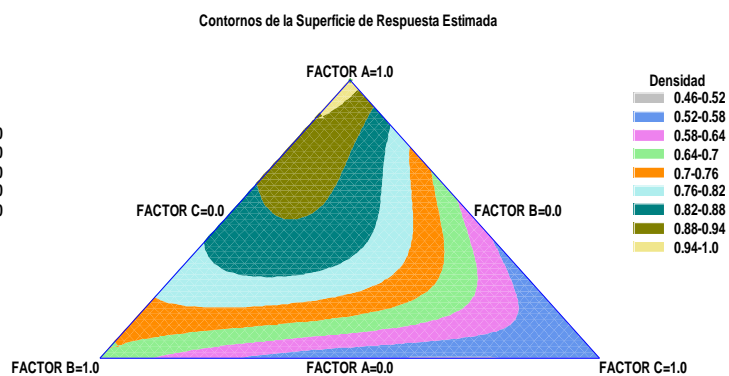
Fuente	Gl	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	6	0,0001
Error total	15	
Total (corr.)	21	

Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

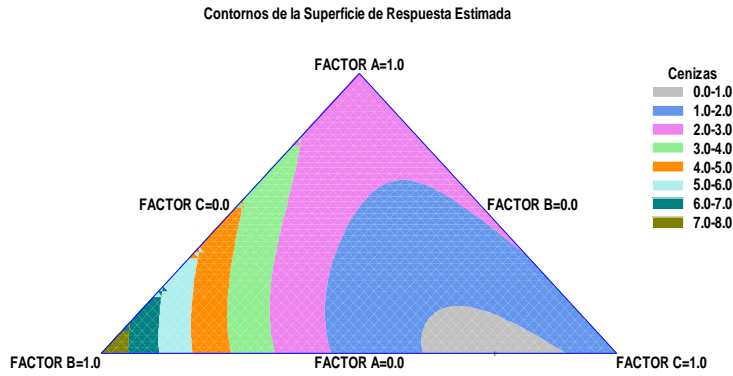
Anexo 26. Anova poder calorífico

Fuente	Gl	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	6	0,0001
Error total	15	
Total (corr.)	21	

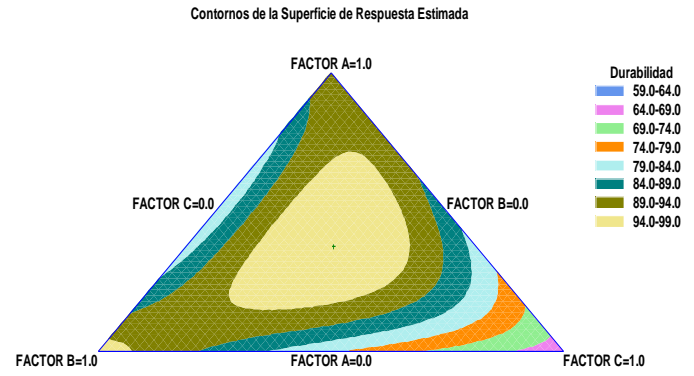
Fuente: Statgraphics Centurion 16.103

Anexo 17. Superficie respuesta para humedad**Anexo 28.** Superficie respuesta para densidad

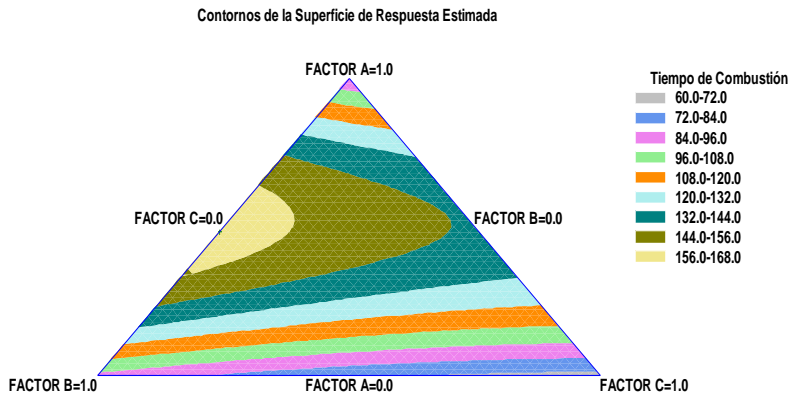
Anexo 29. Superficie respuesta para cenizas



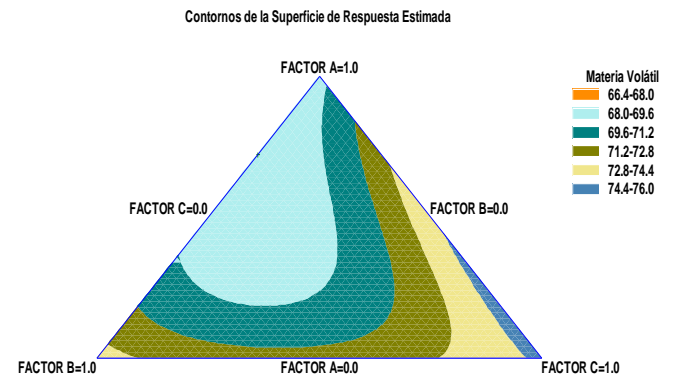
Anexo 20. Superficie respuesta para durabilidad



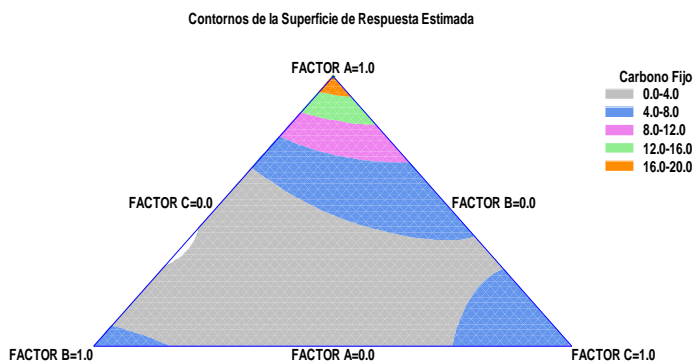
Anexo 31. Superficie respuesta para tiempo de combustión



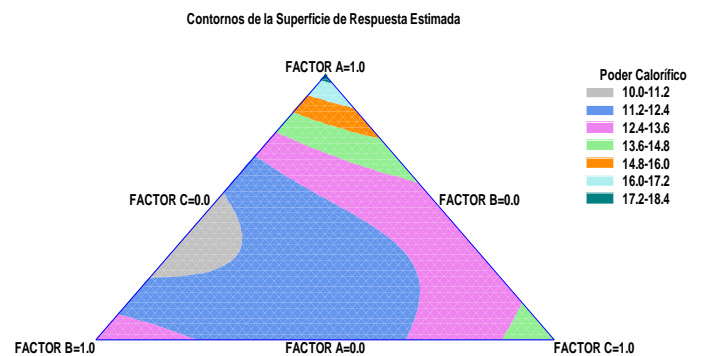
Anexo 32. Superficie respuesta para materia volátil



Anexo 33. Superficie respuesta para carbono fijo



Anexo 34. Superficie respuesta para poder calorífico



Anexo 35. Certificado de laboratorio de bromatología de la ESPAM MFL

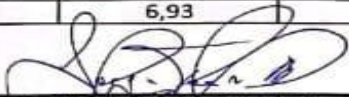


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIZ LÓPEZ
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL

ESTUDIANTES: LOOR ZAMBRANO JANDRY LENIN
ZAMBRANO FERRIN JIMY ANTONIO
DIRECCION: CALCETA
FECHA DE ANALISIS: 13 DE ABRIL - 18 DE ABRIL 2023

TIPO DE MUESTRAS: PELLETS DE BIOMASA
MUESTRAS ANALIZADAS: 22

T	Humedad (%)	Cenizas (%)	Densidad (g/cm3)	Durabilidad (%)	Carbono Fijo (%)	Materia volátil (%)	Poder calorífico (Mj/Kg)	Tiempo de comb.(min)
1	20,34	1,46	0,500	90,28	0,05	73,23	11,423	67
2	5,25	2,15	1,000	87,00	32,56	60,04	20,856	64
3	28,24	2,20	0,667	88,89	5,43	64,13	11,900	123
4	19,55	2,07	0,953	99,81	4,66	73,67	13,118	155
5	28,15	1,70	0,800	97,13	2,25	67,89	11,366	145
6	27,57	2,09	0,741	87,28	1,97	68,38	11,339	141
7	13,35	1,30	0,571	63,23	8,25	75,10	14,616	69
8	11,98	8,38	0,714	96,75	5,03	74,61	13,346	93
9	20,22	1,59	0,513	79,11	4,50	73,69	13,067	139
10	24,57	3,68	0,800	89,54	1,04	70,71	11,363	150
11	9,91	2,32	0,953	93,84	14,54	73,24	16,541	84
12	11,62	7,16	0,714	97,55	7,00	74,22	13,990	87
13	13,74	1,30	0,465	80,25	9,93	75,03	15,199	63
14	25,60	4,75	0,909	83,14	0,38	69,26	10,896	163
15	10,30	2,72	0,667	87,86	4,66	74,32	13,213	143
16	22,26	1,88	0,541	70,27	3,55	72,31	12,515	77
17	25,03	1,96	0,690	97,20	2,48	70,53	11,857	114
18	10,39	2,63	1,000	99,80	13,05	73,92	16,119	108
19	12,32	8,90	0,667	97,02	5,87	72,93	13,369	103
20	16,96	1,35	0,571	54,96	6,88	74,81	14,087	66
21	26,64	5,11	0,870	67,25	0,46	67,79	10,693	180
22	16,38	1,85	0,625	89,13	6,93	74,84	14,105	139


ING. JORGE PEÑA DELGADO
TÉCNICO DE LAB. DE BROMATOLOGÍA



Fuente: Laboratorio de Bromatología "ESPAM MFL"