

Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica.

Beltrón Vines Irene Carolina ¹, Palacios Bravo Holger Eugenio ¹, Rosero Delgado Ernesto ²

¹Universidad Técnica de Manabí, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo
 ibeltron7865@utm.edu.ec , hpalacios5405@utm.edu.ec, eroser@utm.edu.ec

Abstract— the purpose of this work is to determine the energy capacity of solid biofuels (pellets) made from the mixture of lignocellulosic biomass. The residues used were peanut husk (*Arachishypogaea*) and corn stalk (*Zea mays L.*) present in different proportions in a total of five mixtures. The highest calorific value obtained (30534,89kJ / kg) was that of mixture 4 in proportions of peanut shell and corn stalk 25:75 respectively with an ash production of 9,49% and a fixed carbon content of 26,18% results that favor the efficiency of the pellet in the combustion process ($T_{max} = 787 \pm 13^{\circ}C$) while the mixture 1 (100% peanut shell) obtained the lowest energy content (M1: 28191,06 kJ / kg) With the results obtained, it was determined that pellets made from mixed biomass have better properties than those manufactured by a single type of lignocellulosic residue.

Index Terms— ash, biomass, calorific power, fixed carbon, pellets.

I. INTRODUCCIÓN

Las energías alternativas van tomando lugar en el mundo por su efectividad, bajo costo y sus características amigables con el medio ambiente (1). La biomasa es la tercera fuente más importante para obtener energía eléctrica, y es considerada como la principal fuente de energía térmica (2) es por ello que se realizará la caracterización y evaluación energética de biocombustibles sólidos que son elaborados a partir de biomasa lignocelulósica, cáscara de maní (*Arachishypogaea*) y tallo de maíz (*Zea mays L.*), para determinar la calidad de las biomásas que son producto de desecho agroindustrial y cuya densificación mejora su capacidad energética (3).

La mayoría de estos residuos agrícolas producidos diariamente en todo el mundo causan efectos graves de contaminación ambiental cuando estos se acumulan y es mucho peor cuando se los quema; una manera eficiente de remediar esta contaminación causada por estos residuos es su aprovechamiento como combustible para la generación de energía (4).

La generación de energía a partir de residuos fósiles es actualmente la que sustenta alrededor del 80% de la energía del mundo según la OECD (5), sin embargo, esto produce una contaminación al ambiente exagerada ya que es una de las principales razones de contaminación ambiental. Además de la desmesurada generación de CO₂ de estos combustibles fósiles,

han llevado a los diferentes organismos encargados del ambiente en todo el mundo a comprometerse a potenciar el uso de energías alternativas y fomentar el uso de la biomasa de origen forestal para la producción de energía (6).

El uso de residuos de origen agrícola y desechos orgánicos como una alternativa al combustible de origen fósil va a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y va a ser beneficioso para todos los interesados en invertir en este tipo de bioenergía (4).

Los pellets a partir de biomásas son biocombustibles sólidos, homogéneos, contienen poca humedad y poseen alta densidad energética, su forma habitual es cilíndrica. La fabricación de estos se la realiza a alta presión sin tener la necesidad de usar algún tipo de adhesivo (7); esto se debe al poder de cohesión de la lignina la cual la poseen los residuos y es la responsable de que no se fraccionen los pellets; entre mayor lignificación presente, el pellet va a poseer una mayor capacidad calorífica (8).

Los pellets se diferencian de las briquetas por diferentes aspectos, el primero es el tamaño ya que los pellets son cilíndricos mientras que las briquetas son un bloque o una tira y poseen mayores dimensiones, 33-40mm y longitud superior a los 15cm. Otra diferencia es su elaboración, los pellets son elaborados en un molino de pellets mientras que las briquetas se fabrican con prensas de briquetas (9).

El uso de pellets o briquetas como combustible ofrecen múltiples ventajas a comparación con las energías convencionales, el costo de la biomasa es mucho más bajo que la electricidad, gas natural y también el petróleo, además de ser una fuente de energía amigable con el medio ambiente. Es tan factible que muchos países y regiones han formulado políticas para apoyar la energía de la biomasa y proporcionar subsidios para el uso de combustibles de biomasa (10).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Pretratamiento de las biomásas lignocelulósicas.

Previo a la elaboración de los pellets, las biomásas (cáscara de maní y tallo de maíz) fueron sometidas a un proceso de molienda y secado, para la reducción de tamaño y de humedad a valores de 2mm y 10% respectivamente.

B. Proceso de densificación de biomasa

Los pellets fueron elaborados en una pelletizadora modelo KL 1500, el cual se encarga de convertir los finos en pellet empleando vapor saturado a presiones de hasta 4 MPa (11,12).

C. Análisis físico-químicos

Para la realización del análisis proximal se determinó la humedad con el empleo de una termobalanza modelo BMA150, el contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo se valoraron según lo descrito por la AOAC (11), los resultados fueron expresados como porcentaje de cada componente por kilogramo de pellets.

Estos parámetros fueron evaluados debido a su influencia en el poder calorífico y en la eficiencia de la combustión presente en los pellets (12).

D. Cálculo del poder calorífico teórico

El poder calorífico se estimó aplicando la fórmula de Gouthal, expresada por la ecuación 1 (ec.1) (13). Este término determina la cantidad de energía por unidad de masa que pueden producir los pellets a través del proceso de combustión (14).

$$Cp = 2,326(147,6 * \%Cf + 144 * \%v) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (1)$$

Donde:

Cp = Poder Calorífico.

%Cf = Porcentaje de carbono fijo.

%v = Porcentaje del material volátil sin contenido de humedad.

E. Combustión de pellets

La cinética de combustión del biocombustible sólido (pellets) fue evaluada por el incremento de la temperatura durante la quema de 200 gramos de pellets en un equipo de combustión piloto construido para este proceso (Fig.1). Se registraron las temperaturas alcanzadas durante un tiempo de 25 minutos, tomando mediciones cada 2 minutos, para establecer curvas de comportamiento del proceso.

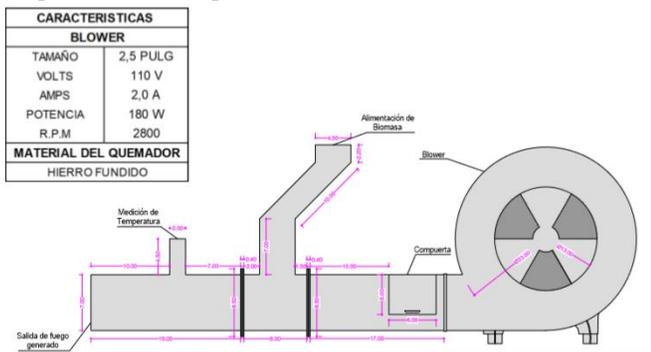


Fig 1. Diseño del equipo de combustión piloto.

F. Análisis estadísticos

Las mezclas evaluadas fueron obtenidas de un diseño de mezclas Simplex Látxice del programa Statgraphics centurión XVI.I, tal como se muestra a continuación:

TABLA I.
DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS.

MEZCLAS	PROPORCIONES (CM-TM)
M1	100% - 0%
M2	75% - 25%
M3	50% - 50%
M4	25% - 75%
M5	0% - 100%

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de pellets de biomasa mixta.

Para determinar la calidad del pellet se caracterizó el contenido de humedad, ceniza, material volátil y carbono fijo. Los datos del análisis proximal de las mezclas realizadas con distintas proporciones de cáscara de maní (*Arachishypogaea*) y tallo de maíz (*Zea mays L.*) se presentan en la Tabla II.

TABLA II.
ANÁLISIS PROXIMAL DE PELLETS DE CÁSCARA DE MANÍ Y TALLO DE MAÍZ.

MEZCLAS	HUMEDAD %	CENIZAS %	MATERIAL VOLÁTIL %	CARBONO FIJO %
M1	9,88 ± 0,17	16,22 ± 1,79	68,41 ± 1,14	15,37 ± 1,14
M2	10,85 ± 0,20	12,55 ± 0,58	62,24 ± 0,33	25,21 ± 0,48
M3	11,15 ± 0,21	10,56 ± 1,46	65,32 ± 2,74	24,12 ± 3,70
M4	11,15 ± 0,10	9,49 ± 0,39	64,32 ± 2,14	26,18 ± 1,81
M5	10,40 ± 0,30	12,30 ± 0,20	63,90 ± 0,70	23,80 ± 0,50

3.1.1 Contenido de humedad

De acuerdo con lo expuesto por Lehtikangas (15) un elevado contenido de humedad influye directamente con el poder calorífico del pellet y por consiguiente en la eficiencia de la combustión y la temperatura que se pueda alcanzar. Por el contrario, niveles bajos de humedad permiten aumentar la eficiencia y el rendimiento de la combustión (16).

En la tabla II se muestra que el mayor contenido de humedad se obtuvo en el pellet de la mezcla 3 en una cantidad de 11,15% con residuos de cáscara de maní y tallo de maíz en una proporción 50:50; y la mezcla 1 (100:0) es la del valor más bajo con un contenido de humedad de 9,88%. Estos valores se encuentran dentro del rango establecido para la elaboración de pellets de madera, siendo estos de entre 7-12% (17).

Durante la combustión, cuando el contenido de agua es elevado (superior al 12%), el pellet tiende a absorber calor para el proceso de evaporación, contribuyendo a que el poder calorífico se reduzca de manera significativa, dando como resultado una combustión incompleta de aquellos materiales no volátiles y provocando el depósito de carbono no quemado (humo) en la chimenea o depositado en el fondo del equipo impidiendo el flujo de gases de escape y minimizando la transferencia de calor y el poder de ignición (16).

3.1.2 Contenido de cenizas.

El contenido de ceniza es inversamente proporcional al poder calorífico, puesto que, mientras mayor porcentaje de cenizas generen los pellets menor poder calorífico se producirá debido a la cantidad de compuestos inorgánicos presentes en la mezcla (16). Como se muestra en la tabla II el mayor contenido de

ceniza se obtuvo en la mezcla 1 de 16,22%, siendo además la mezcla 4 (25CM: 75TM) la que generó menor contenido de ceniza (9,49%).

Los resultados obtenidos de ceniza son superiores a los alcanzados por otros estudios de pellets de biomasa: contenido de ceniza en pellets de cáscara de maní (2,772-6,116%) (18), pellets de bagazo, cáscara de maní y vainas de cacao (7,34-9,10%) (19), mazorca de maíz (3,1%) y de polvo de trigo (4,1%) (20). Estas diferencias pueden estar dadas por un elevado contenido de minerales en el interior de las biomásas y el terreno destinado al crecimiento y desarrollo de las plantas que generan residuos de maní y maíz (21). Es decir, éste varía de acuerdo a la fuente de biomasa utilizada y los métodos de recolección empleados (22).

3.1.3 Contenido de material volátil

Éste parámetro influye en la velocidad de combustión, puesto que, mientras mayor sea el contenido de material volátil en los pellets, más inflamable sería el biocombustible sólido (23).

Los resultados obtenidos de material volátil contenido en pellets de cáscara de maní y tallo de maíz se presentan en la tabla II. Se manifiesta un rango de porcentajes que van desde 61,91% presente en la mezcla 2(75 CM: 25TM) hasta 69,55% para la mezcla 1 (100% CM), siendo éstos los valores menor y mayor reportados.

Onochie, Obanor, Aliu, & Ighodaro (24), presentan valores de contenido de material volátil en pellets de cáscara de almendra (84,10%) y de fibra de palma (84,03%), por su parte, Zhang, Qiu, Wang, Zhang, & Kang (25) al optimizar las mezclas de pellets con bio-aceite como aglutinante en su proporción óptima de aglutinante, agua, paja de maíz y bio-carbón (6:10:40:40) obtienen un porcentaje de compuestos volátiles de 50,73%, y la proporción 10:10:50:30 con aceite residual de cocina como aglutinante con 57,71%. Éste mismo estudio evaluó los componentes volátiles presentes en pellets de paja de maíz logrando un contenido aproximado de 78,59% (25).

En comparación con los datos alcanzados por dichos autores se evidencia que el valor reportado en esta investigación manifiesta un alto porcentaje de volatilidad (>50%), permitiendo que los pellets elaborados a partir de cáscara de maní (*Arachishypogaea*) y tallo de maíz (*Zea mays L.*) ardan con gran facilidad, consiguiendo temperaturas elevadas durante el proceso de combustión y finalmente generando una llama de mayor longitud.

3.1.4 Contenido de carbono fijo.

El carbono sólido (carbono fijo) se mide como el carbono que queda después de que los componentes volátiles se liberan del proceso de combustión (16), éste actúa como un generador de calor principal durante la combustión, por tanto, contribuye al poder calorífico contenido en el biocombustible sólido (pellets) (26).

De acuerdo a los resultados de carbono fijo (Tabla II) en pellets elaborados a partir de la mezcla 4 (26,18%) presentará un contenido energético superior al alcanzado en la mezcla 1 (15,37%) puesto que, el contenido de carbono fijo es menor.

En el estudio realizado por Febrero et al. (27) se alcanza un contenido de carbono fijo en pellets de madera (26,11%) semejante al manifestado en la presente investigación. Mientras que los resultados presentados por Onochie, et al. (24) son inferiores, alcanzando 5,53% y 1,51% para pellets de cáscara de almendra y fibra de palma respectivamente.

3.1.5 Medición del poder calorífico

Los resultados de la evaluación energética realizada a los pellets elaborados a partir de cáscara de maní y tallo de maíz se presentan en la fig.2.

Tal como se mencionó anteriormente el poder calorífico contenido en los biocombustibles estará condicionado principalmente a parámetros tales como contenido de humedad, ceniza y carbono fijo, puesto que, mientras mayor sea la generación de cenizas menor será la capacidad energética alcanzada (M1: 28191,06 kJ/kg) y, por el contrario, un poder calorífico mayor (M4: 30534,89kJ/kg) se debe a la generación mínima de ceniza (16). De la misma forma el contenido de carbono fijo se ve reflejado en ello tanto para la mezcla 1 (100%CM) y la mezcla 4 en proporción 25:75, resultados que se manifiestan en la figura 2 y 3 donde M4 presenta una capacidad energética superior a las demás mezclas analizadas.

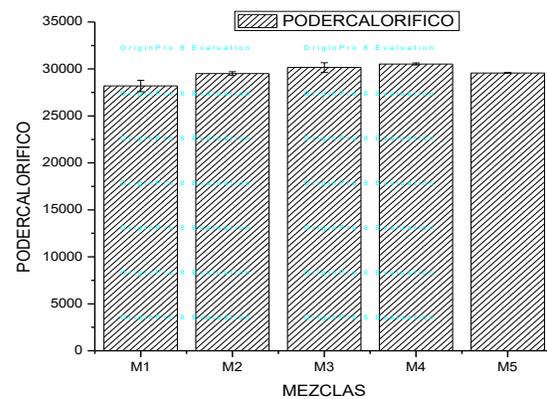


Fig 2. Poder calorífico (kJ/kg) determinado en cada muestra de pellets de biomasa mixta.

El valor energético alcanzado en el presente estudio (M4: 30 534,89kJ/kg) supera a los logrados en otras investigaciones sobre la fabricación de pellets de madera de pino (20 030 kJ/kg) (28), pellets de remolacha (15 095 kJ/kg) y pellets de paja (16 584 kJ/kg) (29), resultados que manifiestan la eficiencia de emplear pellets elaborados a partir de biomásas mixtas para la generación de energía en calderas industriales (30).

Por su parte, los resultados expuestos en la tabla III y fig.3 de la prueba de múltiples rangos dados para el poder calorífico de las mezclas analizadas a un nivel de confianza del 95,0% comprueban que no existen diferencias de medias significativas entre las mezclas 2-5 comparadas, sin embargo, la mezcla 1 se encuentra fuera de este rango ya que presenta un poder calorífico inferior al resto de muestras.

TABLA III.
PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA CP (KJ/KG)
MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

MEZCLAS	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
M1	3	28191,1	X
M2	3	29467,0	X
M5	3	29575,3	XX
M3	3	30159,7	XX
M4	3	30474,8	X

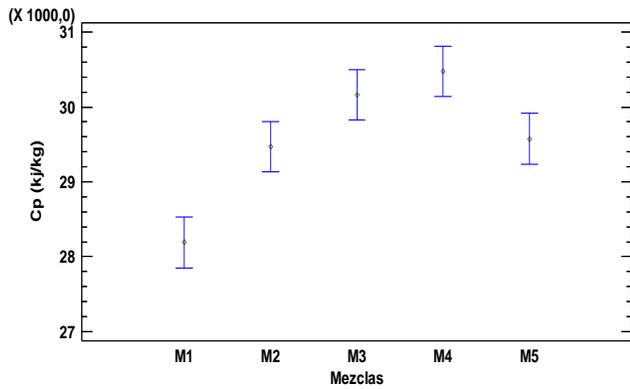


Fig 3. Comparación de medias de capacidad calorífica.

Desde el punto de vista económico, las estadísticas recientes muestran que los precios de los pellets se han enfrentado a fluctuaciones significativamente menores que los precios del petróleo, al mantenerse en un nivel aproximado de 5 centavos por Kwh (3600kJ) desde 2000. Durante el mismo período, los precios del petróleo han fluctuado desde 5 centavos por kWh a 11 centavos por kWh en 2013. Sin embargo, pese a que los precios entre pellets y combustibles a partir de petróleo se han nivelado actualmente, los pellets continúan presentando una estabilidad mayor (31).

En comparación con la energía producida a partir del gas natural los pellets presentan precios similares, permitiendo mostrar no tan sólo la capacidad energética que estos biocombustibles puedan generar sino la viabilidad económica que presenta esta nueva fuente renovable de energía (31).

3.1.6 Cinética de combustión

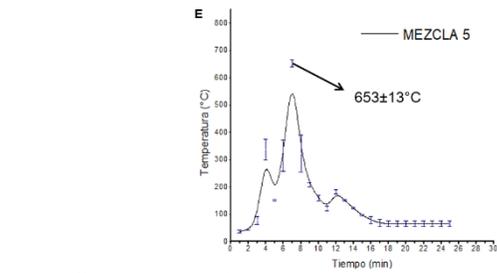
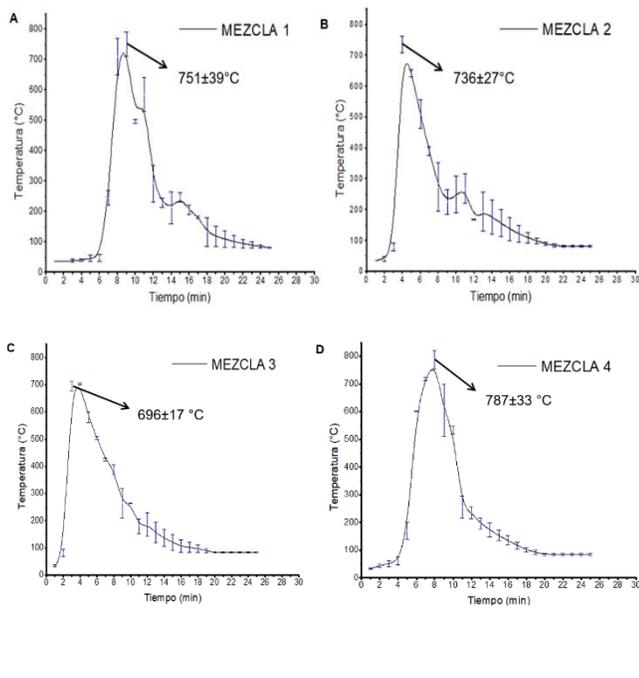


Fig 4. Curvas de combustión (T.máx) para A) M1 (100CM), B) M2(75CM:25TM), C) M3 (50CM:50TM), D) M4 (25CM:75TM), E) M5 (100TM)

La figura 4 presenta las variaciones de temperatura alcanzadas durante la combustión de cada mezcla de biopellets analizado; se mantuvo un perfil de combustión similar en cada muestra al obtener el máximo valor de temperatura en los primeros 8 minutos. Mientras que en la figura 5 se puede comparar dicho comportamiento al denotar que no existen diferencias significativas entre las mezclas 1-4, no obstante, la mezcla 4 presenta un valor superior en relación a las demás mezclas. Por consiguiente, en la fig.4D se muestra como la mezcla 4 logró un punto máximo de $787 \pm 13 \text{ }^\circ\text{C}$ a los 8 minutos de combustión, para luego disminuir progresivamente hasta estabilizarse a los 100°C ; este patrón se observó en cada una de las curvas. Por su parte, el punto mínimo de temperatura alcanzada se manifestó en la mezcla 5 ($653 \pm 13^\circ\text{C}$) en un tiempo de 4 minutos.

TABLA IV.
PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA LAS TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN
MÉTODO: 95.0 PORCENTAJE LSD

MEZCLAS	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
M5	3	652,5	X
M3	3	704,0	X
M2	3	736,3	X
M1	3	751,0	XX
M4	3	787,0	X

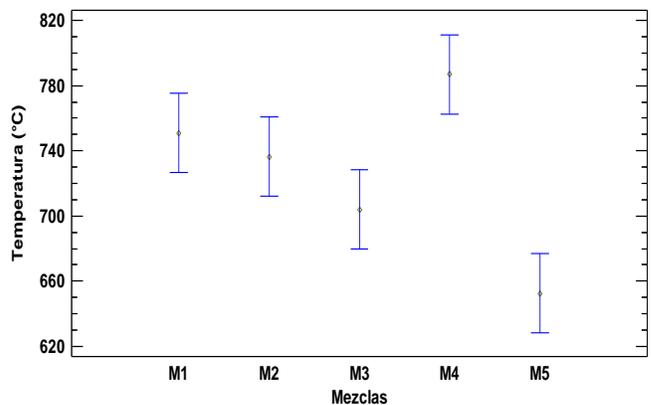


Fig 5. Comparación de medias de temperaturas de combustión. En la tabla IV y fig. 5 se manifiesta que la mezcla 5 sí presenta diferencias de medias significativas con respecto a las demás mezclas analizadas. Estas diferencias se establecen debido a las

propiedades fisicoquímicas que poseen los biocombustibles sólidos (Tabla II), comprobando que los pellets de la mezcla 4 son más eficientes, pues, tienen la capacidad de arder con mayor facilidad, alcanzan temperaturas superiores y generan mayor calor, debido a que presentan un porcentaje de carbono fijo elevado y por ende un poder energético superior, concordando a su vez con otros estudios de Guo y Zhong quienes lograron una temperatura máxima de combustión de pellets de carbón a 650°C, produciéndose la mayor pérdida de compuestos volátiles y la descomposición del carbón; por su parte los pellets elaborados a partir de biomasa compuesta (PBC) generan una longitud de llama superior a los 400°C (32). De acuerdo con Rivadeneira et al. (33), el perfil de temperaturas alcanzadas durante la combustión de muestras de astilla de madera y piñón superan los 700°C, logrando la temperatura máxima en la mezcla de 75% astilla y 25% piñón (899,6°C); proporciones que coinciden con la mezcla 4 del presente estudio.

IV. CONCLUSIÓN

La mezcla de biomasa lignocelulósicas permitió mejorar significativamente las propiedades de los biocombustibles sólidos de biomasa pura (M4 en contraste con M1). La mejor calidad de pellets se obtuvo de la mezcla de cáscara de maní y tallo de maíz en proporción 25:75 respectivamente presentando un mayor porcentaje de carbono fijo, menor contenido de cenizas y reactividad, factores que favorecieron al incremento en el poder calorífico del pellet y por ende a la cinética de combustión; convirtiéndose en una alternativa eficiente para su uso en calderas industriales y sistemas de calefacción doméstico.

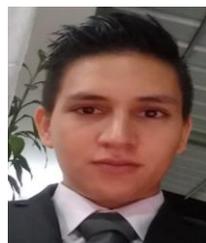
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wadhwa M, Bakshi MPS, Makkar HPS. FAO. [Online].; 2013. Available from: <http://www.fao.org/3/i3273e/i3273e00.htm>.
2. Nunes LJR, Matias JCO, Catalão JPS. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 40: p. 153-160.
3. Ibrahim R, Li , Stegemann. Life cycle assessment of biomass densification systems. *Biomass and Bioenergy*. 2017; 107: p. 384-397.
4. Petre M, Pătrulescu F, Teodoresc R. Chapter 3 - Controlled Cultivation of Mushrooms on Winery and Vineyard Wastes. *Mushroom Biotechnology*. 2016;; p. 31-47.
5. OECD I. World Energy Outlook. *International Energy Agency*. 2010.
6. Fernández H, Oliver JV, Valiente M, Verdú S, Albert N. Desarrollo de pellets. *Madera y Bosques*. 2014; 20: p. 97-111.
7. Marcos F, Nuñez M. Biomasa Forestal: fuente energética. *Energética XXI*. 2006; 4(52): p. 80-85.
8. Rodríguez A. Estudios de valoración energética de combustibles forestales para la prevención de incendios forestales en la Sierra de la Primavera (Jalisco, México) mediante calorimetría de combustión y ensayos de inflamabilidad. *Servizo de Publicacions e Intercambio Científico*. 2009;; p. 128.
9. GEMCO ENERGY. What Is The Difference Between Biomass Pellets & Briquettes? [Online].; 2019 [cited 2019 08 12. Available from: <http://www.gemco-energy.com/biomass-pellets-and-briquettes.html>.
10. Agar DA. A comparative economic analysis of torrefied pellet production based on state-of-the-art pellets. *Biomass and Bioenergy*. 2017 Febrero; 97: p. 155-161.
11. Alakangas E, Virkkunen. Biomass fuel supply chains for solid biofuels. *Finland*:: 2007.
12. Abolins J, Gravitis J. Energy from biomass for conversion of biomass. *Latvian journal of physics and technical sciences*. 2009; 46(5): p. 16-23.
13. AOAC. Association of Official Analytical Chemists International Official Methods of Analysis. 16th ed. Arlington: AOAC; 1997.
14. Platace R, Adamovics , Gulbe I. Evaluation of factors influencing calorific value of reed canary grass spring and autumn yield. *Engineering for rural development*. 2013;; p. 521-525.
15. Adegoke OA, Fuwape JA, Fabiyi JS. Combustion properties of some tropical wood species and their pyrolytic products characterization. *Energy and Power*. 2014; 4(3): p. 54-57.
16. Seijas S, Seijas P, Seijas N, Chávez A, Salgado L, Alva M. Optimización del proceso de densificación de desechos lignocelulósicos para la conformación de pellets energéticos. *Ciencia para el desarrollo*. 2014; 17(1): p. 73-80.
17. Lehtikangas P. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*. 2000;; p. 19:287-93.
18. Sukarta N, Ketut D, Sri Ayuni NP. Proximate Analysis and Calorific Value of Pellets in Biosolid Combined with Wood Waste Biomass. *Journal of Ecological Engineering*. 2018; 19: p. 185-190.
19. Alakangas E. Characteristics of Fuels Used in Finland. *Jyvaskyla: VTT Energy*. 2000;; p. 172 pp. +app. 17 pp. (VTT Research Notes 2045) (In Finnish).
20. Wibowo S, Lestari N. Effect of Peanut Shell Torrefaction on Qualities of The Produced Bio-Pellet. *Reaktor*. 2018; 18(4): p. 183-193.
21. Lubis A, Romli M, Yani M, Pari G. Mutu biopellet dari bagas , kulit kacang tanah dan pod kakao. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 2016; 26(1): p. 77-86.

22. El-Sayed SA, Khairy M. Preparation and Characterization of Fuel Pellets from Corn Cob and Wheat Dust with Binder. *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2017; 8(1): p. 71-87.
23. Lukmandaru G, Hidayah RN. Studi mutu kayu jati di hutan rakyat Gunungkidul VI. Kadar zat anorganik dan Keasaman. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 2017; 10(2): p. 63-75.
24. Mata J, Pérez JA, Díaz MJ, Serrano A, Núñez N, López FJ. Statistical evaluation of quality parameters of olive stone to predict its heating value. *Fuel*. 2013; 113: p. 750-756.
25. Sulistyanto A. Karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa. *Media Mesin*. 2006; 7(2): p. 77-84.
26. Onochie UP, Obanor AI, Aliu SA, Ighodaro OO. Proximate and ultimate analysis of fuel pellets from oil palm residues. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*. 2017; 36(3): p. 987-990.
27. Zhang T, Qiu L, Wang Y, Zhang C, Kang K. Comparison of Bio-Oil and Waste Cooking Oil as Binders during the Codensification of Biomass: Analysis of the Pellet Quality. *Bioenergy Research*. 2019.
28. Speight JG. Assessing fuels for gasification. *Gasification for Synthetic Fuel Production*. 2015;: p. 175-198.
29. Febrero L, Granada E, Regueiro A, Míguez J. Influence of Combustion Parameters on Fouling Composition after Wood Pellet Burning in a Lab-Scale Low-Power Boiler. *Energies*. 2015; 8(9): p. 9794-9816.
30. Arranz JI, Miranda MT, Montero I, Sepúlveda FJ, Rojas CV. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel*. 2015; 142: p. 199-207.
31. García R, Pizarro C, Lavín AG, Bueno J. Biomass sources for thermal conversion. Techno-economical overview.. *Fuel*. 2017; 195: p. 182–189.
32. González JF, González-García CM, Ramiro A, González J, Sabio E, Gañan J, et al. Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. *Biomass and Bioenergy*. 2004; 27(2): p. 145–154.
33. Broek Hvd. Wood pellets: output and efficiency. [Online].; 2019 [cited 2019 08 12. Available from: <http://pellets-wood.com/news-wood-pellets-output-and-efficiency-1.html>.
34. Guo F, Zhong Z. Optimization of the co-combustion of coal and composite biomass pellets. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 185: p. 399–407.
35. Rivadeneira D, Heredia M, Ramírez V, Narváez R, da Cruz Tarelho L, Amador de Matos A. Co-combustión de pellets de *Jatropha curcas* (Piñón) y astillas de madera en un quemador horizontal prototipo. *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*. 2018 diciembre; 2(2): p. 8-23.



Beltrón Vincés I.C. Estudiante de pregrado de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí.



Palacios Bravo H.E. Estudiante de pregrado de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí.



Rosero Delgado Ernesto Alonso. Doctor en Ciencias Técnicas - Procesos Biotecnológicos. Ingeniero Agroindustrial. Docente Principal de la Universidad Técnica de Manabí desde el 2015. Imparte las disciplinas de Ingeniería de los Bioprocesos, Biotecnología y Estadística y Control de calidad. Director del grupo de investigación de Biotecnología Aplicada de la Universidad Técnica de Manabí.