



Evaluación del potencial energético de biomasa residual agrícola como recurso energético renovable en Tungurahua, Ecuador

Isabel C. López Villacis^{1,2,*}, Rita C. Santana¹,
Jorge R. Artieda¹, and Carlos L. Vásquez¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Querochaca, Cevallos, Ecuador;

²Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Laboratorio de la Unidad Operativa de Investigación, Universidad Técnica de Ambato, Los Chasquis y Río Payamino, Ambato, Ecuador

Keys: Biomass, Agricultural Waste, Energy potential; **Claves:** Biomasa, Residuo Agrícola, Potencial energético

ABSTRACT

Agricultural waste has energy characteristics and is considered as renewable sources, through conversion processes such as combustion, they allow the obtaining of substitute energy for hydrocarbon energy. The residual agricultural biomass of potato (*Solanum tuberosum*), corn (*Zea mays*) and tree tomato (*Solanum betaceum*) crops was energetically evaluated as a renewable resource in the province of Tungurahua, Ecuador. The prospective crops with the greatest relevance in terms of biomass waste generated were established. A proximal analysis database was proposed. The calorific value and the amount of biomass were determined to calculate the energy potential for clean energy production. It was determined that tree tomato cultivation generates a greater amount of agricultural waste with 128.83 tn.ha/year, whose calorific value is 15010.15 MJ/tn. With these parameters, the energy potential was calculated, which was 0.54 GWh..

RESUMEN

Los residuos agrícolas poseen características energéticas y son considerados como fuentes renovables, mediante procesos de conversión como la combustión, permiten la obtención de energía sustitutiva de la energía hidrocarburífera. Se evaluó energéticamente la biomasa residual agrícola de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) como recurso renovable en la provincia de Tungurahua, Ecuador. Los cultivos prospectivos con mayor relevancia en cuanto a los residuos biomásicos generados fueron establecidos. Se propuso una base de datos del análisis proximal. Se determinó el poder calorífico y la cantidad de biomasa para el cálculo del potencial energético para la producción de energía limpia. Se determinó que el cultivo de tomate de árbol genera mayor cantidad de residuos agrícolas con 128.83 tn.ha/año, cuyo poder calorífico es de 15010.15 MJ/tn. Con estos parámetros se calculó el potencial energético que fue de 0.54 GWh..

Revista Boliviana de Química, 2024, 41, 14-23
ISSN 0250-5460, Rev. Bol. Quim. Paper edition
ISSN 2078-3949, Rev. boliv. quim. e-edition, Jan-Apr
30 abril 2024, <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.3>

© 2024 Universidad Mayor de San Andrés,
Facultad de Ciencias Puras y Naturales,
Carrera Ciencias Químicas, Instituto de Investigaciones Químicas
Open Access: <http://bolivianchemistryjournal.org>

¹Evaluation of the energy potential of biomass agricultural waste as a renewable energy resource in Tungurahua, Ecuador, Recibido el 28 de noviembre 2023, aceptado el 30 de marzo 2024; *Mail to: ic.lopez@uta.edu.ec

INTRODUCCIÓN

La biomasa se define como cualquier material de origen orgánico no fosilizado con múltiples usos y que, por una parte, puede ser la base de la alimentación, y por otra, constituye la materia prima para las industrias como la farmacéutica, cosmética, textil, maderera, papelera y ciertos elementos de construcción ^[1]. Las características fisicoquímicas de la biomasa se convierten en una fuente atractiva para el aprovechamiento energético y por ello, en varios países se han realizado estudios sobre la evaluación del potencial energético. En Cuba se realizó un levantamiento de biomasa obtenida a partir de caña de azúcar, café, arroz y residuos de aserraderos para determinar la energía total generada, así como la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) dejados de emitir a la atmósfera ^[2]. Así mismo, en Colombia se caracterizaron los residuos agrícolas sólidos, ganaderos, forestales y municipales con el fin de evaluar su potencial energético ^[3,4].

Se estima que 1200 millones de personas, es decir el 17% de la población mundial no dispone de electricidad, una alternativa para resolver este problema son las fuentes de energía renovables provenientes de residuos agrícolas que son considerados como fuente de electricidad para los sistemas aislados en áreas rurales ^[5].

La explotación energética a nivel práctico precisa una cuantificación de los distintos recursos disponibles, junto a una caracterización que permita establecer la aptitud de los recursos biomásicos a los distintos procesos con la finalidad de obtener energía: combustión directa, gasificación, fermentación entre otros procesos ^[6].

La biomasa residual procedente de la agricultura se puede considerar como un recurso potencialmente aprovechable, como fuente de biocombustibles y otros subproductos. Sin embargo, no se ha utilizado adecuadamente hasta ahora, debido a que presenta diferentes dificultades técnicas, entre éstas, la carencia de suficiente información sobre la cantidad y calidad para su transformación ^[7]. Su gestión energética podría suponer un ingreso adicional para los agricultores que, por un lado, comercializarían la cosecha alimentaria y por otro lado serviría como fuente de energía, materia prima o subproductos elaborados al tiempo de rentabilizar las operaciones de mantenimiento dentro de una gestión sostenible ^[8]. En este sentido, el gobierno del Ecuador ha logrado implementar una serie de políticas para responder al aumento del consumo energético y particularmente de electricidad, apoyando la inclusión de las energías renovables dentro de la matriz energética ^[9]. De ese modo, se estima que, del total de energía primaria generada en el país, las energías renovables aportan con el 8%, contribuyendo la hidroenergía con un 5% y la biomasa con la diferencia ^[10].

A pesar de la potencialidad de aprovechamiento de la biomasa provenientes de los residuos agrícolas como fuente energética, en Ecuador no existen estudios sobre el potencial energético de los residuos agrícolas de mayor producción (papa, tomate de árbol y maíz), por esta razón el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial energético de los residuos agrícolas de los tres cultivos para aprovecharlos como recurso energético renovable.

EXPERIMENTAL

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de cultivos y sitios de muestreo

Esta investigación se realizó durante 2021, en la provincia de Tungurahua-Ecuador. Se consideró como población los cultivos de mayor producción, que según el MAGAP (2019) son los cultivos de papa, maíz y de maíz se utilizaron las plantas postcosecha y para el caso del cultivo de tomate de árbol se utilizó los residuos producto de operaciones de poda ^[11].

El muestreo se realizó en tres localidades de los cantones Ambato, Pelileo, Píllaro, Patate y Baños (Figura 1), estos cantones poseen mayor producción de papa, maíz y tomate de árbol en la provincia de Tungurahua ^[12].

El mapa de las áreas muestreadas fue elaborado con el software del sistema de georreferenciación ArcGIS en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

Para la recolección de muestras se utilizó los lineamientos de la Norma UNE-EN 14778; las muestras se tomaron al azar, se tomó 10 plantas por cada 1000 plantas en el monocultivo por parcela y se colocó en una funda de color negro, las cuales fueron rotuladas y posteriormente trasladadas al Laboratorio de la UODIDE-ICIA de la Facultad

de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato para su posterior análisis. De cada cantón se muestreó en 3 parroquias (Tabla 1).

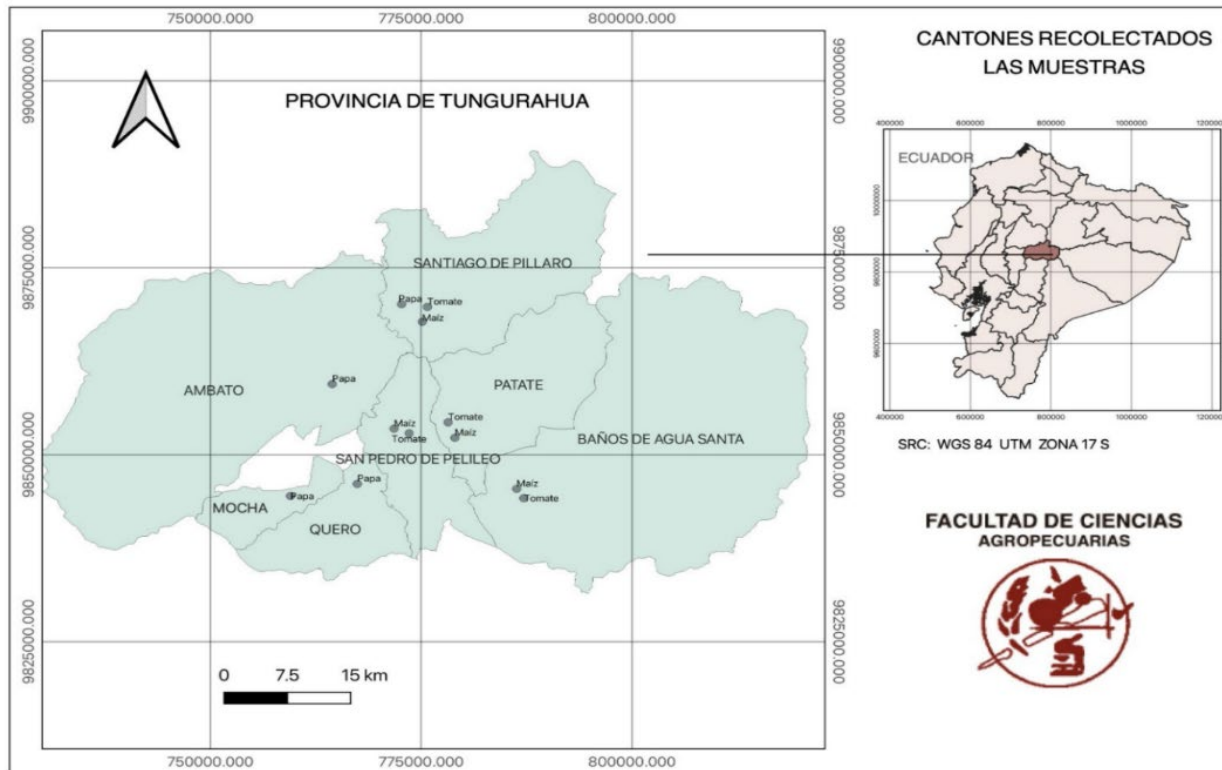


Figura 1. Mapa de los cantones en la provincia de Tungurahua donde se tomaron las muestras.

Tabla 1. Sectores en donde se tomaron las muestras de los residuos agrícolas.

Cantón	Parroquia	Papa	Maíz	Tomate de árbol
Ambato	Pilahuin	x		
	Totoras	x		
	Juan Benigno Vela	x		
	San Andrés	x		
	San José de Poaló	x		
Santiago de Pillaro	San Miguelito	x		
	Santa Rita		x	x
	San José de Poaló		x	x
	Baquerizo Moreno		x	x
Quero	Puñachisac	x		
	La Matriz	x		
	Rumipamba	x		
Patate	Los Andes		x	x
	Sucre		x	x
	Las Playas del Obraje		x	x
San Pedro de Pelileo	García Moreno		x	x
	Pelileo Grande		x	x
	Pamatug		x	x
Mocha	La Dolorosa	x		
	Yanayacu	x		
	Cruz de Mayo	x		
Baños de Agua Santa	La Pampa			x
	Juive Chico		x	x
	Chamana		x	x

Diseño Experimental

El diseño que se utilizó para esta investigación fue completamente al azar con análisis de factores jerárquicos o anidados con tres repeticiones. Además, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y se realizó el análisis de varianza ADEVA, donde se evaluó la influencia que tienen cada factor (Factores: cultivos y cantones de mayor producción de los cultivos: papa, maíz y tomate de árbol en la provincia de Tungurahua) sobre las variables respuestas ^[13]. Los resultados fueron analizados mediante el programa estadístico INFOSTAT Versión 2020I.

Análisis proximal de biomasa residual agrícola

Los parámetros físicos (contenido de humedad, cenizas, compuestos volátiles y carbono fijo) influyen en la calidad de biomasa ^[14]. Para realizar la determinación de los parámetros físicos se realizó un pretratamiento de las muestras, que consiste en lavar con abundante agua las muestras para luego secarlos en la estufa a 50°C por 6 horas y finalmente se molieron para reducir su tamaño, se almacenaron y se etiquetaron en fundas herméticas, debidamente rotuladas. El análisis de contenido de humedad se realizó mediante un analizador halógeno de humedad (mod. HX204) basado en el método de pérdida por secado. El contenido de cenizas y de volátiles fueron determinados siguiendo la Norma española UNE-EN ISO 18122:2015 y UNE-EN ISO 18123:2015 respectivamente. Finalmente, el contenido de carbono fijo se obtuvo mediante la utilización de la ecuación (1) la cual considera el valor del contenido de ceniza y de compuestos volátiles ^[15].

$$CF = 100 - (\%C + \% CV) \quad (1)$$

Estimación del potencial energético

Para determinar el potencial energético de la biomasa de los residuos agrícolas es necesario calcular la cantidad de biomasa residual, para lo cual se tomó en cuenta la superficie del terreno cultivado, el número de plantas por área. El número de plantas de papa por hectárea es de 40000 ^[16], para el cultivo de maíz es de 75000 por hectárea ^[17], para el cultivo de tomate de árbol es de 2500 por hectárea ^[18]. Adicionalmente, para el caso del cultivo de papa y de maíz se pesó las plantas de postcosecha, mientras que para el cultivo de tomate de árbol se tomó en cuenta el peso de los residuos obtenidos del proceso de poda de cada planta, además se tomó en cuenta el número de cosechas por año (dos cosechas por año para el caso de los cultivos de papa y maíz) y el número de podas en el caso del tomate de tomate de árbol (una sola vez). La ecuación para calcular la cantidad de biomasa (2) ^[19] es:

$$\text{Biomasa residual} = \text{peso promedio de residuo agrícola (planta) postcosecha (kg)} * \# \text{ de plantas.ha} \quad (2)$$

Para calcular el potencial energético también se necesita determinar el poder calorífico de la biomasa agrícola en muestras trituradas, se utilizó el calorímetro (marca Parr 6400) y utilizó la siguiente ecuación ^[20]:

$$PE = BR * PC \quad (3)$$

Donde PE es el potencial energético (MJ/tn), BR es la biomasa residual (tn/año) y PC es el poder calorífico de la biomasa residual de cada cultivo (MJ/tn).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de biomasa residual agrícola de los cultivos de papa, maíz y tomate de árbol

De acuerdo con el análisis, el tomate de árbol es el cultivo que produce mayor cantidad de biomasa residual agrícola (128.83 tn.ha/año), seguido del cultivo de papa con 6.4 tn.ha/año y finalmente el cultivo de maíz con 4.89 tn.ha/año, esta biomasa proviene de operaciones de poda, renovación de cultivo o restos de cosecha (Tabla 2) ^[21].

Al comparar la cantidad de biomasa agrícola por cultivo (Figura 2), en el primer rango de significación se ubica el tomate de árbol con un promedio de 128.83 tn.ha/año, mientras que los cultivos de papa y de maíz se encuentran en un rango inferior con promedios de 6.54 tn.ha/año y 4.89 tn.ha/año respectivamente.

La planta de tomate de árbol es considerada como una planta arbustiva que posee tallos semileñosos y un gran follaje llegando a alcanzar una altura comprendida entre 2 y 3 metros ^[22]; por lo tanto, en comparación con las plantas de

los cultivos de maíz y de papa la planta de tomate de árbol es mucho más grande y favorece en la obtención de mayor cantidad de biomasa

Tabla 2. Comparación de la cantidad de biomasa (tn.ha/año) vs. cultivo por cantones de mayor producción de la provincia de Tungurahua.

Cultivo	Cantón	Cantidad de biomasa residual tn.ha/año	Cantidad promedio de biomasa (tn.ha/año) por cultivo
Maíz	Patate	2.61	4.89
	Píllaro	4.93	
	Baños	4.94	
	Pelileo	7.11	
Papa	Píllaro	3.17	6.54
	Ambato	5.41	
	Mocha	6.88	
	Quero	10.71	
Tomate de árbol	Patate	86.78	128.83
	Píllaro	121.9	
	Baños	153.26	
	Pelileo	153.38	

Fuente: MAGAP, 2019.

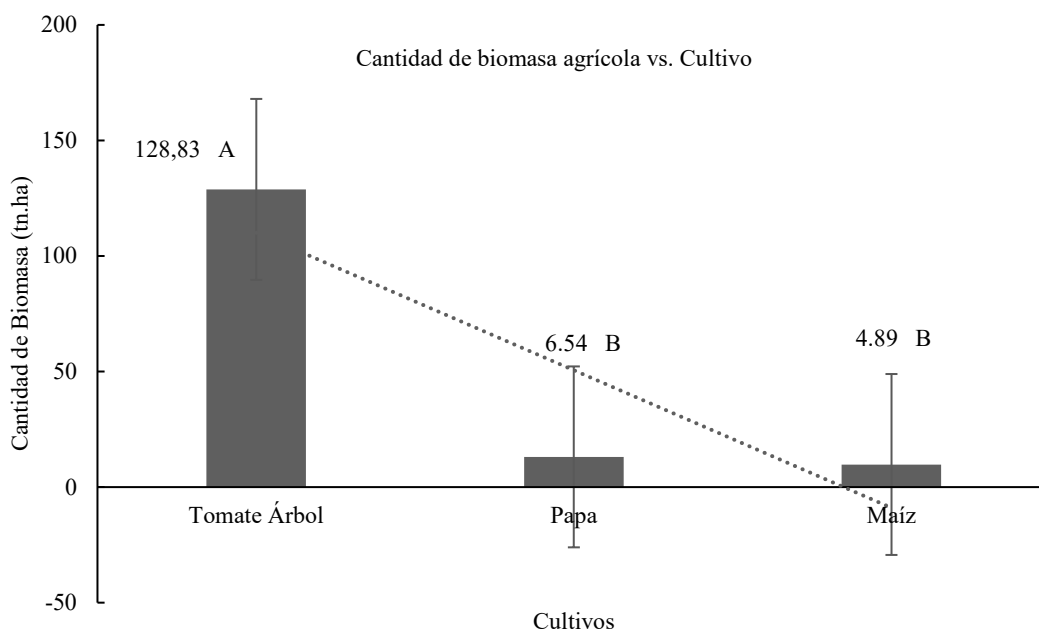


Figura 2. Comparación de la cantidad de biomasa (tn.ha/año) vs Cultivo.

Análisis proximal de biomasa residual agrícola

La biomasa de residuos agrícolas cuenta con una humedad inicial que determina la cantidad de agua, existen factores que pueden afectar este parámetro como: condiciones climáticas, época de cosecha, tipo de residuo agrícola [23].

Al comparar el contenido de humedad de los residuos agrícolas de los cultivos de papa, maíz y de tomate de árbol (Figura 3), se encontró en el primer rango de significación los residuos agrícolas del cultivo de papa con un promedio de 9.85%, mientras que los residuos agrícolas del cultivo de tomate de árbol y del cultivo de maíz se encuentran en rangos inferiores con promedios de 10.66% y 12.28% respectivamente.

En España se realizaron estudios sobre la caracterización de residuos agrícolas postcosecha y se obtuvieron resultados casi similares (papa= 9.9%; maíz= 7.0%; tomate de árbol= 10.2%) a los obtenidos en esta investigación respecto al

porcentaje de humedad [24]: cuanto menor sea el valor de humedad mejor será su poder calorífico y por ende su proceso de combustión; por eso es recomendable utilizar residuos agrícolas con humedad relativa inferiores al 30% para conversión energética [25].

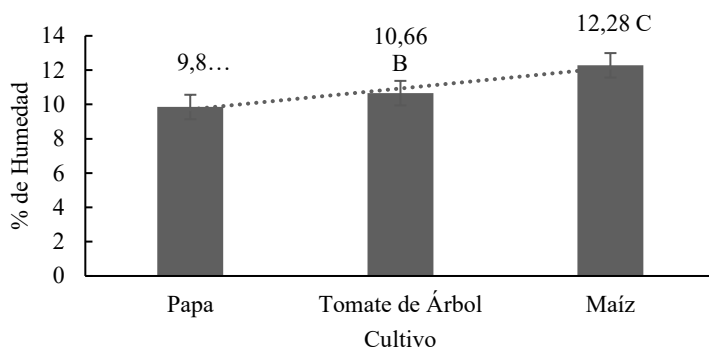


Figura 3. Comparación de valores promedio del contenido de humedad de residuos agrícolas vs. Cultivo.

Al comparar el contenido de cenizas por cultivo se encontró que existen diferencias estadísticas, en el primer rango de significación están los residuos agrícolas del cultivo de maíz con un promedio del 2.47% mientras que los residuos agrícolas de tomate de árbol y de papa se encuentran en rangos inferiores con promedios de 11.49% y 14.66% respectivamente (Figura 4). Las cenizas son el resultado de la combustión completa de la biomasa, si presenta menor contenido de cenizas la calidad de la biomasa es buena [26]; por lo tanto, la biomasa del cultivo de maíz es de mejor calidad. En Nigeria y España se reportaron estudios sobre la caracterización de residuos agrícolas postcosecha de varios cultivos dentro de ellos el de papa, maíz y tomate de árbol, donde presentaron valores de contenido de cenizas casi similares (Nigeria: papa= 13.4%; maíz=1.6% y en España: papa=15.8%, maíz=2.4% y tomate de árbol=16.2%) a los obtenidos en esta investigación, por lo tanto, los residuos agrícolas del cultivo de maíz son los de mejor calidad [24, 27].

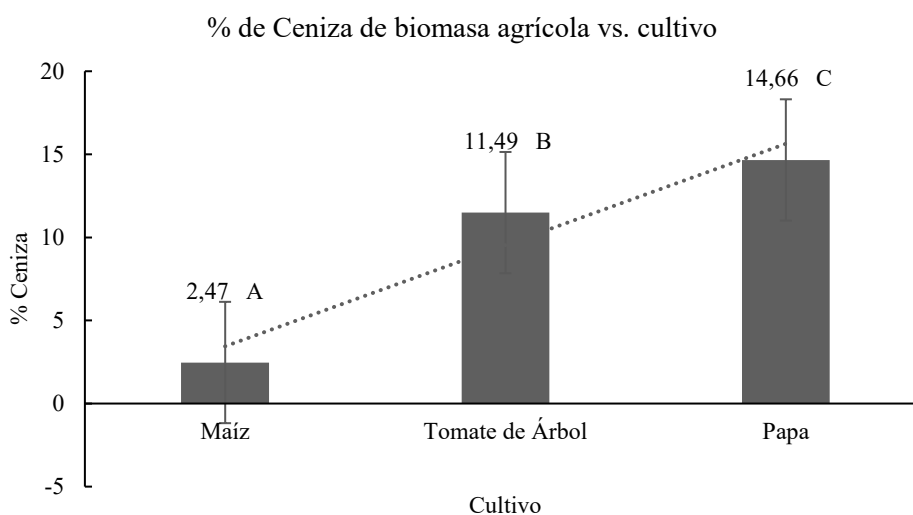


Figura 4. Comparación de valores promedio del contenido de cenizas de residuos agrícolas vs. Cultivo.

Al comparar el contenido de compuestos volátiles de los residuos agrícolas de los cultivos de maíz, papa y tomate de árbol (Figura 5) se encontró en el primer rango de significación los residuos agrícolas del cultivo de maíz con un promedio del 82.38% mientras que los residuos agrícolas de los cultivos de tomate de árbol y de papa se encuentran en rangos inferiores con un promedio de 79.45% y 71.62% respectivamente.

Mientras más alto sea el contenido de compuestos volátiles más rápido se produce la combustión de la biomasa, los compuestos son liberados bajo condiciones específicas, es importante controlar la temperatura y el tiempo de ensayo para lograr reproducir los resultados y evitar que se vean afectados por cualquier parámetro [24].

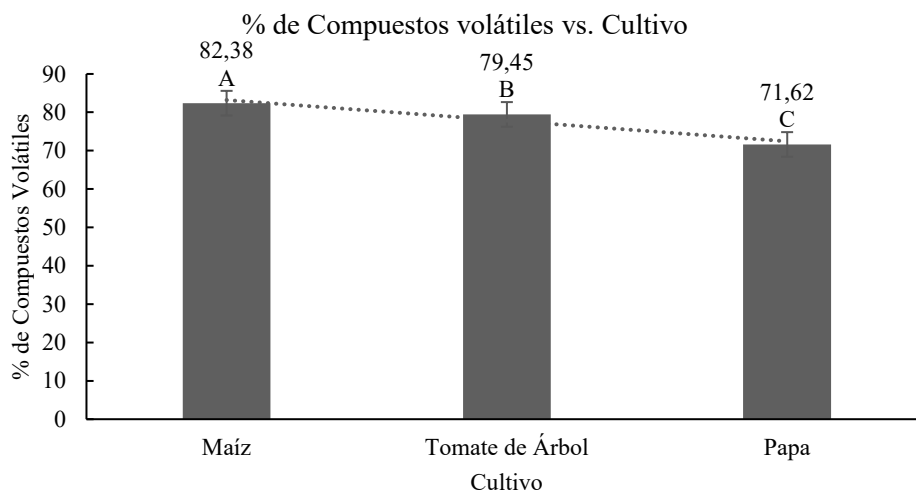


Figura 5. Comparación de valores promedio del contenido de compuestos volátiles de residuos agrícolas vs. Cultivo.

Al comparar el contenido de carbono fijo de los residuos agrícolas por cultivo (Figura 6), se encontró en el primer rango de significación los residuos agrícolas del cultivo de tomate de árbol con un promedio de 9.06%, mientras que los residuos agrícolas de los cultivos de papa y de maíz se encuentran en rangos inferiores con promedios del 13.72% y 15.15% respectivamente. Mientras menor sea el valor del contenido de carbono fijo es mejor, es decir, obtener menor cantidad de residuo sólido (materia no volatilizada) para evitar su tratamiento [26].

Investigaciones realizadas en España [24], Nigeria [26], en Argentina, Cuba, India, Países Bajos y Estados Unidos [28] sobre el análisis proximal de biomasa agrícola, presentaron resultados similares del contenido de carbono fijo que fueron obtenidos en esta investigación, estos valores se encontraron dentro de los rangos normales (9-20%).

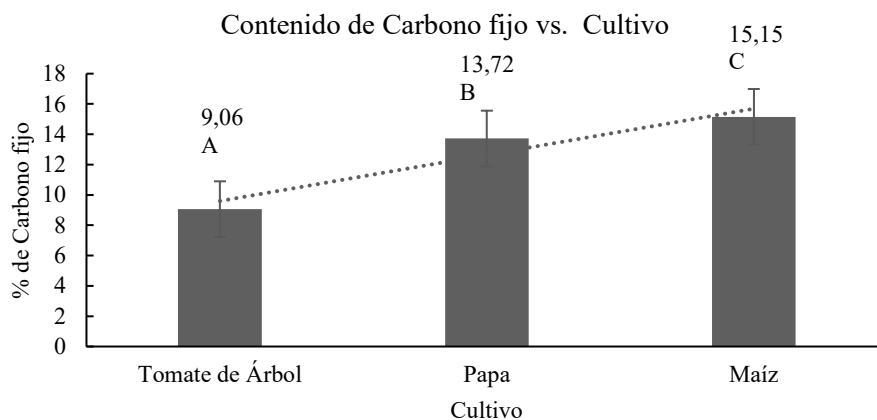


Figura 6. Comparación del contenido de carbono fijo de residuos agrícolas vs. Cultivo.

Poder Calorífico

Respecto a los resultados del poder calorífico de los residuos agrícolas por cultivo (Figura 7) existen diferentes estadísticas, encontrándose en el primer rango de significación los residuos agrícolas del cultivo con un promedio de 15571.67 MJ/tn mientras que los residuos agrícolas del maíz y tomate de árbol se encuentran en rangos inferiores con promedios de 15293.44 MJ/tn y 15010.15 MJ/tn respectivamente. Generalmente el poder calorífico es la energía

térmica que se obtiene de la combustión completa de la biomasa [29]. Estudios realizados en España sobre la determinación del poder calorífico de residuos agrícolas de los cultivos de papa, maíz y tomate de árbol (15070.27 MJ/tn, 17692.11 MJ/tn y 14154.14 MJ/tn respectivamente) presentaron resultados casi similares a los obtenidos en esta investigación, debido a estas características energéticas que presenta la biomasa de residuos agrícolas, en la actualidad ocupa el cuarto lugar después del petróleo, el gas y el carbón [24]. El contenido de humedad de la biomasa residual va a tener influencia en el poder calorífico, es decir, mientras menor es el porcentaje de humedad mayor es el poder calorífico [7].

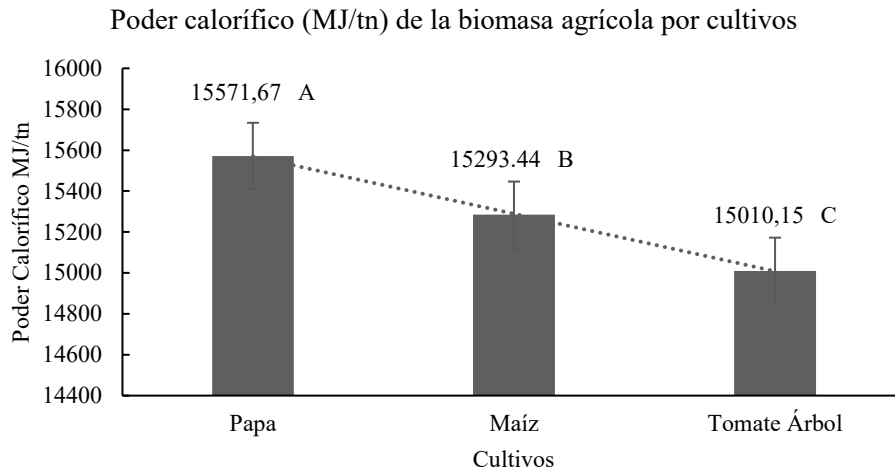


Figura 7. Comparación de valores promedio del poder calorífico (MJ/tn) de los residuos agrícolas vs. Cultivo.

Potencial energético

El potencial energético de los residuos agrícolas tiene una relación lineal directamente proporcional frente a la cantidad de biomasa, es decir dependiendo del tipo de cultivo a más cantidad de biomasa mayor es el potencial energético [30], en base a estos antecedentes se menciona que los residuos agrícolas del cultivo de tomate de árbol presentan mayor cantidad de biomasa por ende posee mayor cantidad de potencial energético.

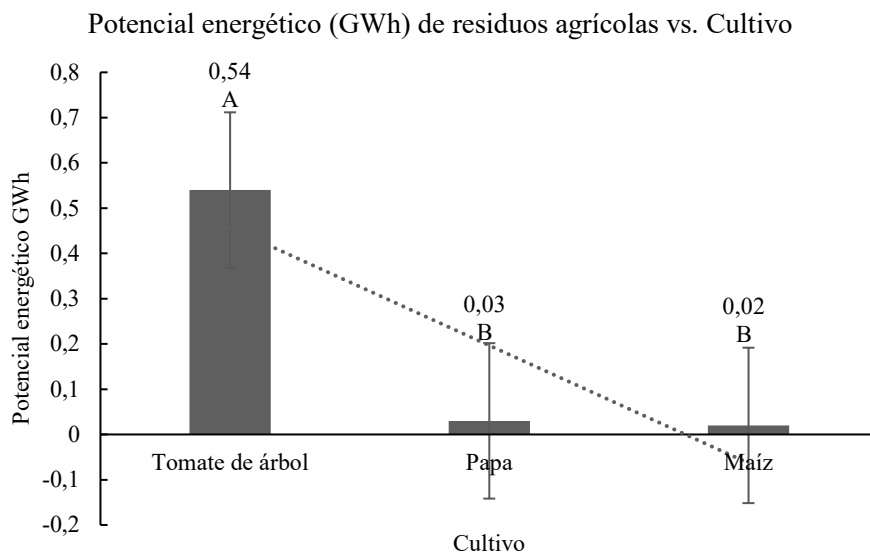


Figura 8. Comparación de los valores promedio del potencial energético (GWh) vs. Cultivo.

Respecto a los resultados del potencial energético de los residuos agrícolas de los cultivos de papa, maíz y tomate de árbol (Figura 8) existen diferencias estadísticas, encontrándose en el primer rango de significación los residuos



agrícolas del cultivo de tomate de árbol con un promedio de 0.54 GWh mientras que los residuos agrícolas del cultivo de papa y de maíz se encuentran en rangos inferiores con promedio de 0.03 GWh y 0.02 GWh respectivamente. Según estudios realizados en Colombia se ha determinado el potencial energético en residuos agrícolas de maíz obteniendo resultados diferente al de esta investigación (21.36 GWh), esto se debe a la tecnología aplicada, estos valores son afectados por la eficiencia de transformación del proceso aplicado a los residuos para la obtención del potencial energético ^[31].

CONCLUSIONES

Se determinó el potencial energético de los residuos agrícolas de los cultivos de mayor producción en la provincia de Tungurahua (papa, maíz y tomate de árbol), donde el cultivo de tomate de árbol es el que genera mayor cantidad de residuos agrícolas con 128.83 tn.ha/año, por lo tanto genera mayor cantidad de potencial energético 0.54 GWh. En la actualidad los residuos agrícolas no son utilizados adecuadamente por los agricultores, estos están disponibles para recolectarlos sin comprometer los requisitos de biomasa agrícola, la parte ambiental y los usos competitivos.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo financiero a este proyecto de investigación. También se extiende un agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Ganadería de Tungurahua, finalmente a los agricultores de la provincia de Tungurahua por la información brindada.

REFERENCIAS

- 1 Vanegas, A. 2019, *Publicaciones e Investigación* 13(2), 77-92.
- 2 Jiménez, R; López, E; González F; Curbelo J. 2018, *Centro Azúcar* 45(2), 25-32.
- 3 Escalante, H; Orduz, J; Zapata, H; Cardona, M; Duarte, M. 2010, *Atlas: El Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- 4 González-Salazar, M A; Morini, M; Pinelli, M; Spina, P; Venturini, M; Finkenrath, M; Poganietz, W. 2014, *Energía aplicada* 136, 781-796.
- 5 IEA – Agencia Internacional de Energía. *World Energy Outlook 2015*. Resumen ejecutivo. París, Francia. 371p.
- 6 Tauro, R; Caballero, J; Salinas, M; Ghilardi, A; Arroyo, J. 2021, *Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras*. 61p.
- 7 Griñan, S. 2020, *Techno-Economic Analysis of the implementation of a Dryer for Medium-Scale Biomass Combustion Plants*. Thesis Master to be awarded the Degree of Master of Science in Electromechanical Engineering major in Energy. Bélgica. Universidad Libre de Bruselas. 17p.
- 8 Gallardo, A; Colomer, F; Campos, R; Arias, D. 2019, *Aprovechamiento energético de residuos sólidos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. DOI: <http://dx.doi.org/10.6035/MediAmbient.2019.10>
- 9 Plan Nacional del Buen Vivir, SN Desarrollo, Plan Nacional del Buen Vivir. Quito, 2013.
- 10 Delgado, D. 2015, "Balance Energético Nacional 2015," ed: Quito-Ecuador.
- 11 Calderón, M; Andrade, F; Lizaraburo, L; Masache, M. 2017, *Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador*. Naciones Unidas. 19p.
- 12 MAGAP, UZI Tungurahua. 2019, *Productores de Maíz, Tomate de árbol de la provincia de Tungurahua*.
- 13 Gutiérrez, H; De la Vara Salazar, R; Cano Carrasco, A. 2008, *Análisis y diseño de experimentos*. McGrawHill.
- 14 Rodríguez, J; Cascaret, D; Ricardo, C; Pérez, R; La Rosa, K. 2019, *Revista Cubana de Química* 31(2), 209-223.
- 15 Bustamante, G; Carrillo, A; Prieto, J; Corral, J; Hernández, J; 2016, *Revista mexicana de ciencias forestales* 7(38), 5-23.
- 16 Rizo, D. 2019, *Producción de papa con Buenas Prácticas Agrícolas*, Bélgica: Norvin Palma.
- 17 Caviades, M; Carvajal, F; Zambrano, J. 2022, *Tecnologías para el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el Ecuador*. ACI Avances En Ciencias e Ingenierías 14(1). DOI: <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- 18 Feicán, C; Encalada, C; Becerril, A; 2016, *AGROProductividad* 9(8),78-87.
- 19 Justo, J; Marotta, A; Prado, O; Alves, R; Perella, J. 2015, *Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 568-583.



- ²⁰ Buitrago, J. 2021, Estimación de la generación de bioenergía a partir del potencial energético de la biomasa disponible en Sabana Centro. Tesis de Magister en Gerencia de Ingeniería. 40p.
- ²¹ Velázquez, M; Fernández, E; López, I; Salazar, D. 2011, Quantification of the residual biomass obtained from pruning of vineyards in Mediterranean. *Biomass and Bioenergy*, 7(35), 3453-3464. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.042>
- ²² Fonseca, L. 2015. Manual Tomate de árbol. Bogotá: Cámara de Comercio Bogotá. Obtenido de file:///C:/Users/Dell/Downloads/Tomate+de.pdf
- ²³ Moya, R. 2017. Uso de la biomasa forestal y resultados de propiedades. Universidad Nacional de Ciencias Forestales, Ingeniería en Energías renovables, Honduras.
- ²⁴ García, R; Pizarro, C; Lavín, A; Bueno, J. 2012. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource technology* 103(1), 249-258.
- ²⁵ Praspaliauskas, M; Pedišius, N; Čepauskienė, D; Valantinavičius, M. 2020, Study of chemical composition of agricultural residues from various agro-mass types. *Biomass Conversion and Biorefinery* 10(4), 937-948.
- ²⁶ Blasco, C. 2018, Evaluación de los recursos agrícolas para su valorización energética en calderas Spouted bed reactors. Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Valencia. 45p.
- ²⁷ Otalayo, S; Ifeolu, J; Pacenka, R. 2020, An Assessment of Potential Resources for Biomass. *Resources* 9(8), 92.
- ²⁸ Yang, C. 2011, Prediction of higher heating values of biomass from proximate. *Fuel* 90(3), 1128-1132.
- ²⁹ Al-Kassier, R. 2013, Caracterización y Preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante (Doctoral dissertation, Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia”).
- ³⁰ Burgos, C; Neyfe, S. 2022, Evaluación de las alternativas del empleo de la biomasa lignocelulósica del café en Chimborazo. *Ingeniería Industrial* 43(4), 21-36.
- ³¹ Ortiz, G., Ramírez, M. 2021, Estimación del potencial energético a partir de la biomasa primaria agrícola en el Departamento de Putumayo. (MSc tesis). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia, recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/30055/RamirezEscobarMiguelAngel2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y>