

## **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**

Life cycle analysis of the energy use of the waste (corn cob) of the corn crop (Zea mays) in the province of Los Ríos, Ecuador

Ing. José Alfonso Martillo Aseffe<sup>1</sup>

DrC. René Lesme Jaén<sup>2\*</sup>

DrC. Luis Oscar Oliva Ruiz<sup>2</sup>

MSc. Aldemar Martínez González<sup>3</sup>

Dr. Electo Eduardo Silva Lora<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.

<sup>3</sup> NEST–Excellence Group in Thermal Power and Distributed Generation, Institute of Mechanical Engineering, Federal University of Itajubá. Itajubá. Brazil.

\*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: lesme@uo.edu.cu

### **RESUMEN**

La agricultura enfrenta hoy tres nuevos desafíos, el cambio climático, la desertificación y la pérdida de la biodiversidad de los suelos, provocado por las malas prácticas culturales en los sistemas agropecuarios y es necesario estos sistemas tengan como objetivo no sólo proporcionar alimentos, sino energía a partir de todos los desechos.

El maíz es un producto que se cultiva en casi todo el mundo y durante el proceso de cosecha se generan residuos tales como tusas, hojas, tallos que pueden ser utilizados como fuentes de energía.

En objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de la tusa, determinándose los coeficientes de residuos y su potencial energético en la provincia de Los Ríos, Ecuador, obteniendo que por cada tonelada de maíz cosechado se obtienen 1,665 toneladas de residuos, de las cuales 0,613 toneladas son tallos, 0,309 toneladas hojas, 0,277 toneladas de raíces y 0,186 toneladas de tuzas.

El análisis del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica a partir de la tusa con tecnologías de gasificación y motor de combustión interna muestra un potencial energético de 15.72 GJ/ha por cosecha y un índice de generación eléctrica de 115.20 kWh/ton de maíz producido. Por otra parte, la huella de carbono en términos de emisiones de gases de efecto invernadero para los escenarios evaluados fue de 913 kg CO<sub>2</sub>-eq/t de maíz y 797 kg CO<sub>2</sub>-eq/t de maíz, respectivamente, con una reducción de emisiones de 12.7% por cosecha.

**Palabras clave:** Biomasa; residuos de maíz; aprovechamiento energético

## **ABSTRACT**

Agriculture faces three new challenges today, climate change, desertification and the loss of soil biodiversity, caused by poor cultural practices in agricultural systems and it is necessary these systems not only to provide food, as well energy to from all the waste.

Maize is a product that is grown in almost all the world and during the process of harvest residues such as corn cobs, leaves, stems that can be used as energy sources are generated.

The objective of this work is to perform a life cycle analysis of the energy use of the corn cob, determining the waste coefficients and their energy potential in the province of Los Ríos, Ecuador, obtaining that for each ton of corn harvested 1,665 tons are obtained of waste, of which 0.613 tons are stems, 0.309 tons leaves, 0.277 tons of roots and 0.186 tons corn cobs.

The life cycle analysis of the electrical energy production from the corn cobs with gasification technologies and internal combustion engine shows energy potential of 15.72 GJ / ha per harvest and an electric generation index of 115.20 kWh / ton of

corn produced. On the other hand, the carbon footprint in terms of greenhouse gas emissions for the scenarios evaluated was 913 kg CO<sub>2</sub>-eq / t of corn and 797 kg CO<sub>2</sub>-eq / t of corn, respectively, with a reduction in emissions of 12.7% per harvest.

**Keywords:** Biomass; corn residues; energy use.

Recibido: 8/09/2018

Aceptado: 15/01/2019

## Introducción

La generación y gerencia de residuos constituyen dos temas prioritarios en las sociedades modernas. La gestión inadecuada producen impactos notables en los medios receptores, sin embargo, cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se convierten en recursos útiles que contribuyen al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales y del clima. <sup>(1,2)</sup>

Las fuentes y tipos de residuos son distintas en cada país, sin embargo, dado el aumento sostenido de la producción agropecuaria, especial atención merecen los residuos de las cosechas agrícolas, los cuales pueden ser utilizados como fuentes de energía y la estimación de su potencial energético, así como, los impactos derivados de su utilización constituye una tarea importante para implementar proyectos tecnológicos que permitan su valorización energética.

Una herramienta útil para llevar a cabo una gestión integral de los residuos es el Análisis del Ciclo de Vida (ICV), <sup>(3,4,5)</sup> el cual comienza en el momento en que un material se convierte en residuo, y termina cuando deja de serlo y se convierte en un producto útil, en energía aprovechable o en un material inerte.

Varios son los estudios recientes dedicados a valorizar los residuos en diferentes países. <sup>(6,7,8,9,10,11)</sup> Las metodologías aplicadas se fundamentan en la utilización de coeficientes que estiman la cantidad de residuos producidos por áreas de cosechas o por unidad de masa de productos cosechados. Estos coeficientes de residuos han sido obtenidos experimentalmente.

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 (kgr/kgp) en países de América del Norte y del Sur, Asia Oriental y Meridional y Europa Oriental, valores entre 1-2 kgr/kgp en el caso de China y 1 kgr/kgp en México, encontrándose ligeras diferencias en cuanto a la forma de cosecha. <sup>(12, 13,14, 15)</sup>

La valorización energética de los residuos se ha realizado a través de su utilización como combustibles en tecnologías de conversión energética. <sup>(2,6, 11,18)</sup>

Se han desarrollado estudios relacionados con la gasificación y el uso del gas en el secado granos agrícolas y generación de electricidad, pero no se reportan estudios dedicados a evaluar los posibles impactos ocasionados por su aprovechamiento energético. <sup>(16,17)</sup>

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de ciclo de vida de la cosecha de maíz en la provincia de los Ríos, Ecuador, que permita estimar los volúmenes de residuos y en el caso de la tusa evaluar su potencial energético e impactos para su utilización como combustible fuente en tecnologías gasificación y motores de combustión interna (MCI).

## **Materiales y Métodos**

### **Cultivo y cosecha de maíz en el Ecuador**

En el Ecuador, el maíz se cultiva en todo el país con siembras concentradas en las provincias de Los Ríos y en menor proporción para las regiones de Guayas, Loja, Azuay y Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura. <sup>(19)</sup>

Un censo realizado reveló una superficie cosechada de 361 mil hectáreas (ha) y una productividad media de 3,68 toneladas métricas por hectárea (tm/ha), inferior a las obtenidas en las provincias de Los Ríos y Guayas. (Ver tabla 1).

**Tabla 1.** Superficie sembrada de maíz y rendimiento por hectáreas en distintas zonas del Ecuador en una cosecha. <sup>(19)</sup>

Región	Área Planta (ha)	Área cosechada (ha)	Producción de maíz (tm)	Producción de maíz por hectárea (tm/ha)
Total Nacional	361346	330058	1215192	3.68
Los Ríos	156565	150185	684142	4.56
Guayas	49927	46288	238391	5.15
Manabí	72606	58797	129266	2.20
Loja	38792	33068	101339	3.06
Otras	43456	41720	62054	1.49

### **Estimación de los volúmenes de residuos generados durante la producción de maíz**

Para estimar el volumen de estos residuos, fue necesario establecer relaciones másicas entre la cantidad de subproducto y el producto principal cosechado, denominado coeficiente de residuo, (Ec. 1.1). Estos coeficientes varían con las prácticas culturales y las peculiaridades climáticas de cada región. <sup>(20)</sup>

$$C_R = \frac{\text{Peso del residuo}}{\text{Peso del maíz}} \quad (1.1)$$

Fueron tomadas muestras de diferentes plantas de maíz en diferentes regiones: Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos (1100 muestras), Provincia de Guayas.

### **Caracterización de los residuos de tusa de maíz**

Las muestras de tusas (Humedad 10 %) fueron analizadas en los Laboratorios del Centro de Excelencia y Generación Distribuida (NEST) de la Universidad Federal de Itajubá, Brasil en la tabla 2 se presentan los resultados y las Normas utilizadas. Los resultados obtenidos están en correspondencia con los reportados por otros autores. <sup>(21,22,24,25)</sup>

**Tabla 2.** Composición elemental e inmediata (%vol.) de la tusa base seca

<b>Análisis Ultimo (% en vol.) en base seca, libre de ceniza (daf)</b>		
Carbón	48.40-49.00	ASTM D 5373-08
Hidrogeno	5.40 - 5.87	
Oxigeno	44.30 - 45.46	
Nitrógeno	0.30 - 0.47	
Sulfuro	1. 0.01	
<b>Análisis aproximado (peso%) en base seca</b>		
Ceniza	1.73	ASTM D 3175
Material volátil	79.36	ASTM D 3174
Carbono fijo	17.14	ASTM D 3172
<b>Poder calorífico (MJ / kg) en base seca</b>		
Poder calorífico inferior	17.0 - 18.8	

### **Potencial energético de los residuos de tusa de maíz**

Para la estimación del potencial energético se utilizó la siguiente expresión:

$$PE_t = CR_t \times R_{mha} \times PCI_{bt} \quad (1.2)$$

Donde:

PE<sub>t</sub>. Potencial energético de la tusa por hectárea, GJ/ha

CR<sub>t</sub>. Coeficiente de residuos de tusa, kgr/kgp

R<sub>mha</sub>. Rendimiento de maíz por hectárea, tm/ha

PCI<sub>bt</sub>. Poder calorífico bajo de la tusa, MJ/kg.

El método empleado ha sido utilizado para estimar el potencial energético de otros tipos de residuos. <sup>(23)</sup>

### **Gasificación de la tusa y uso del gas de síntesis en motores de combustión interna (MCI)**

En la literatura científica se reportan algunos resultados del proceso de gasificación de la tusa donde se observa una producción de gas pobre entre 2.00-2,94Nm<sup>3</sup>/ kg y un PCI entre 4.30-6,31 MJ/Nm<sup>3</sup>, estando la eficiencia en frío del gasificador entre 62,8-68,0 %, mientras que la eficiencia de conversión de la

energía química del gas en energía mecánica a través del MCI está entre 21,1-21,6%. (Ver tabla 3.)

**Tabla 3.** Composición y poder calorífico del gas de la gasificación de la tusa con aire

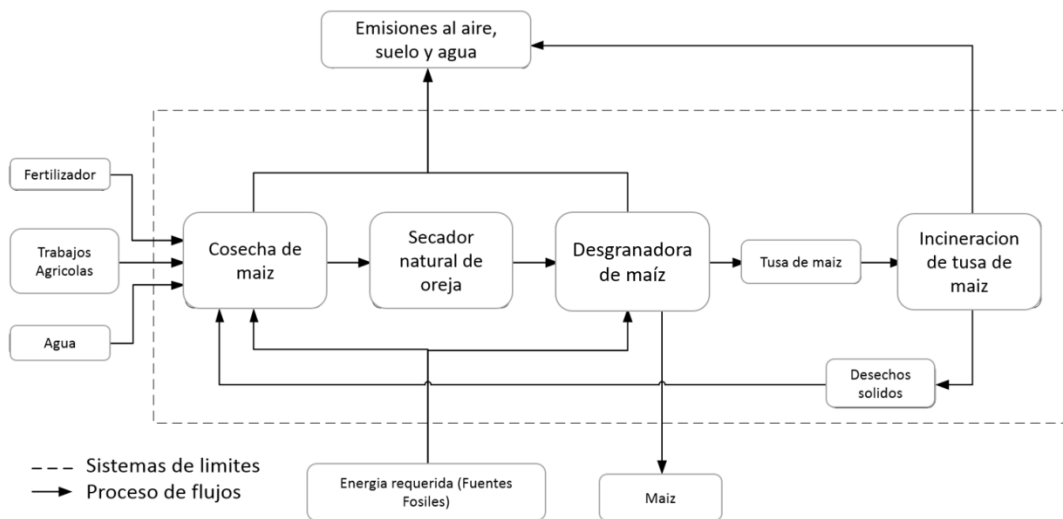
Concentración del gas (vol.%) en base seca.					PCI (MJ/Nm <sup>3</sup> )	G <sub>gas</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg)	η <sub>cold</sub> (%)	η <sub>g</sub> (%)	Ref.
CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>					
18.60	16.5	6.4	nd	nd	6.29	nd	nd	nd	(23)
19.1	17.3	0.1	12.1	51.4	4.67	nd	nd	nd	(12)
15.8- 17.3	11.3- 12.3	0.34- 0.39	1.90- 2.30	nd	5.6-5.8	2.00	66.0- 68.0	21.1- 24.6	(13)
15.43	15.5	1.6	14.	nd	4.58	2.12	62.8	nd	(24)
13.11	17.01	1.54	nd	nd	4.30-6.31	2.94	nd	nd	(25)

**Leyenda:** PCI. Poder calorífico inferior del gas, G<sub>gas</sub>. Producción específica de gas, η<sub>cold</sub>. Eficiencia en frío del gasificador, η<sub>g</sub>. Eficiencia Térmica. nd. No disponible.

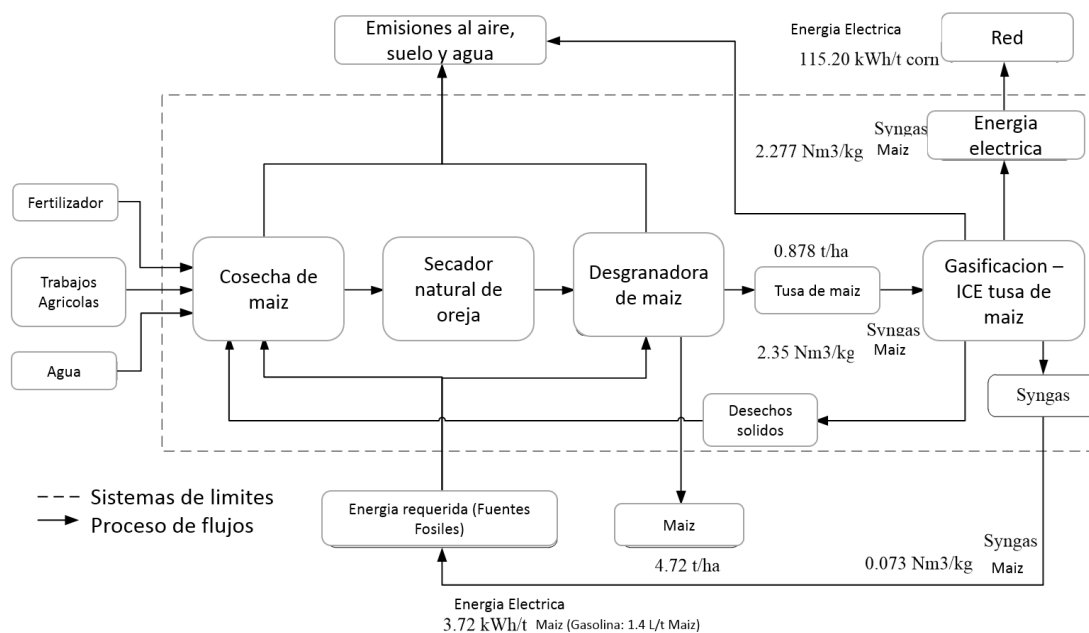
### **Análisis comparativo de ciclo de vida del uso del gas de la tusa en la generación de electricidad**

Análisis de ciclo de vida (ACV) sobre la gasificación de biomasa para generar electricidad se han desarrollado en otros países, <sup>(26,27,28,29)</sup> sin embargo no se presentan resultados referentes a la utilización de los residuos, específicamente los de la cosecha de maíz.

Debido a su naturaleza un ACV completo puede resultar extensísimo. Por esta razón se deberán establecer escenarios y límites o alcance del estudio. En nuestro caso, el alcance, es la evaluación de los potenciales impactos ambientales asociados a la producción de maíz sin (figura 1, Caso\_Ref) y con aprovechamiento energético de la tusa (figura. 2, Caso\_Gsf).



**Fig. 1-** Límites del escenario de producción de maíz sin aprovechamiento energético de los residuos agrícolas.



**Fig. 2-** Límites del escenario de producción de maíz por cosecha con aprovechamiento energético de los residuos agrícolas.

Fueron consideradas las etapas de cultivo, secado natural, procesamiento industrial (desgranado de maíz). En el primer escenario fue considerada la



incineración de la tusa a cielo abierto y el proceso de desgranado del maíz en una desgranadora Motor Vanguardia de 18 hp - Modelo DGM-70 con un consumo de 1.40 L de gasolina/ton de maíz producido medido experimentalmente.

En el segundo escenario se incluye la etapa de gasificación de la tusa de maíz y generación eléctrica mediante un MCI y se considera la sustitución de gasolina en el motor de la desgranadora por una fracción de gas combustible y la fracción de gas residual sería destinada a la generación de energía eléctrica y comercializada en la red eléctrica nacional.

La metodología utilizada para la evaluación del desempeño ambiental (ACV) está soportada en la herramienta computacional SimaPro® v8 de PRé-Consultants, donde fueron determinadas las siguientes categorías de impacto: Calentamiento global y consumo de energía no renovable.

En la tabla 4 se presentan los indicadores y parámetros generales utilizados, la conformación de la matriz energética del Ecuador y las principales emisiones gaseosas producidas en el MCI.

**Tabla 4.** Indicadores energéticos y emisiones para el análisis comparativo de ciclo de vida

Parámetros	Caso_Ref	Caso_Gsf	Ref.
Unidad funcional (t Maíz)	1.0	1.0	
Energía generada (kWh/t Maíz)	-	118.92	
Consumo de gasolina (L/t Maíz)	1.4	1.4	
<sup>1)</sup> Energía equivalente (kWh/t Maíz)	3.72	3.72	
Excedente de Energía (kWh/t Maíz)	-	115.20	
Rendimiento de Gas – Gasificación (Nm <sup>3</sup> /t tusa de maíz)	-	2.35	
LHV – Gas sintético (MJ/Nm <sup>3</sup> )	-	4.5	
		<b>Gas sintético</b>	
<b>Emisiones desde ICE</b>	<b>Gasolina ICE</b>	<b>ICE</b>	
CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kW-h)	8.38	2.09	(29,30)
CO (g CO/kW-h)	28.0	2.03	(29,30)
NO <sub>x</sub> (g CO/kW-h)	7.25	4.34	(29,30)
Electricidad eficiencia ICE (%)	30.0	22.0	
<b>Distribución de Energía (%) – Ecuador Redes de poder</b>	<b>Caso_Ref</b>	<b>Caso_Gsf</b>	
Electricidad, desde gas natural	4.2	4.2	(31)
Electricidad, desde madera	4.0	4.0	(31)
Electricidad desde bagazo	3.0	3.0	(31)
Electricidad, desde el petróleo	82.3	82.3	(31)
Electricidad desde una planta energía hidroeléctrica	6.5	6.5	(31)
Total Distribución (%)	100	100	(31)

<sup>1)</sup> Corresponde a la energía eléctrica equivalente al consumo de gasolina, considerando un PCI 46.89 MJ/kg, densidad de 680 kg/m<sup>3</sup> e una eficiencia de conversión de 30%.

Durante el análisis fueron utilizados las normas de consumo de combustibles durante la cosecha de maíz en el Ecuador. <sup>(30,31,32)</sup>

## Resultados y discusión

### Coeficientes de residuos de biomasa derivados de la cosecha de maíz

Los coeficientes de residuos de la producción de maíz se presentan en la tabla 5, en donde la relación promedio de tusa de maíz por unidad de producto principal (maíz seco) fue de 0.186 kg tusa/kg maíz.

**Tabla 5.** Coeficientes de residuos de la cosecha de maíz en la provincia de Los Ríos y Guayas de Ecuador.

Provincias	Cantones	Recintos	Coeficientes de Residuos (kgr/kgp) <sup>(*)</sup>					Total
			Tallos	Raíz	Hojas <sup>1</sup>	Hojas <sup>2</sup>	Tusas	
Los Ríos	Palenque	Pisi	0.330	0.182	0.316	0.008	0.176	1.012
Los Ríos	Palenque	Revesa	0.280	0.080	0.248	0.022	0.120	0.750
Los Ríos	Palenque	Vince	1.031	0.452	0.535	0.051	0.211	2.280
Los Ríos	Ventanas	Pijio	1.231	0.260	0.393	0.029	0.220	2.133
Los Ríos	Babahoyo	Cirhuelo	0.990	0.150	0.532	0.028	0.210	1.910
Guayas	Carbo	Esperanza	0.899	0.723	0.420	0.045	0.158	2.245
Guayas	Nobol	Artillería	0.432	0.089	0.562	0.041	0.204	1.328
Promedio			0,741	0.277	0.429	0.032	0.186	1.665

<sup>(\*)</sup> Corresponde a la relación de kg de residuos/ kg de producto (maíz).

1. Hojas de la planta, 2. Hojas de la mazorca.

A partir de éste coeficiente y del rendimiento medio de producción de maíz para las regiones de Los Ríos y Guayas (4.72 tm/ha por cosecha), se estima un volumen de tusas de 0.878 tm/ha por cosecha y teniendo en cuenta que la superficie cosechada de maíz es de 196473 ha, se estima una producción de tusas de 172502 toneladas en cada cosecha del año.

### **Potencial energético de los residuos de tusa de maíz**

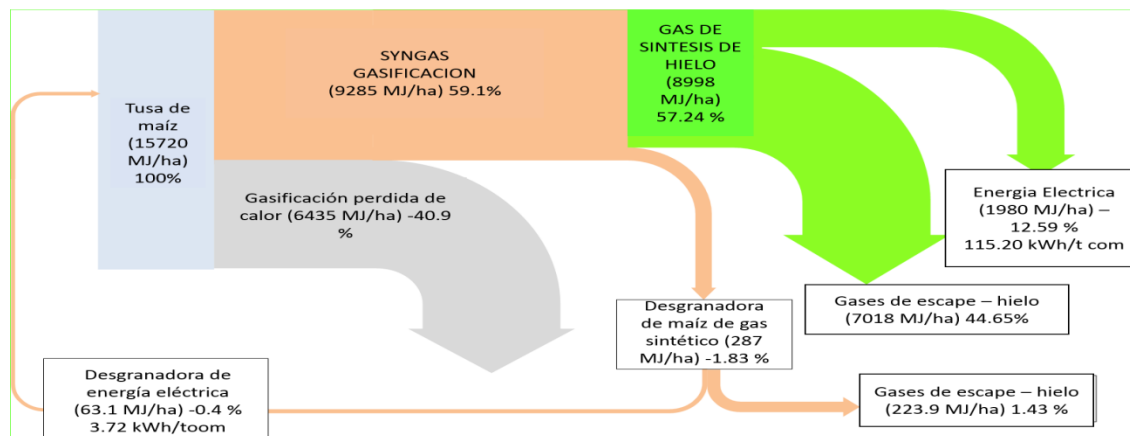
Considerando el volumen de tusas de maíz (0.878 tm/ha por cosecha), su potencial energético, determinado por (Ec. 1.2) sería de 15.72 GJ/ha por cosecha (4.37 MW-h/ha por cosecha) como energía primaria de carácter renovable.

Considerando una eficiencia de conversión de la energía química de la tusa en energía eléctrica de 0.13, <sup>(17)</sup> correspondería a una generación de 611.80 kW-h/ha por cosecha.

Para la utilización del gas de la tusa en un MCI se consideró una producción específica de gas de síntesis de 2.35 Nm<sup>3</sup>/kg tusa (Tabla 3) con una producción

potencial de gas de 2063.3 Nm<sup>3</sup>/ha. Una fracción de este gas es destinado al motor de la desgranadora de maíz (3.72 kWh/t maíz).

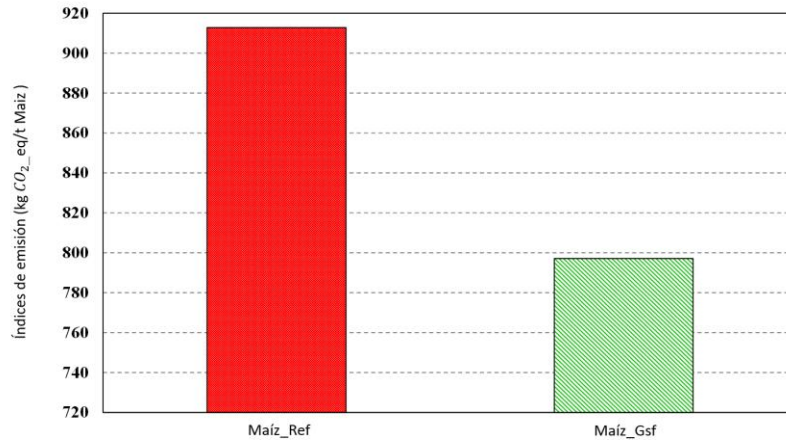
Después de la sustitución de gasolina en el motor de la desgranadora de maíz, la disponibilidad de gas residual para el sistema de generación de energía eléctrica se reduce a 2.277 Nm<sup>3</sup>/kg tusa, equivalente a una densidad energética de 8998 MJ/ha (2500kWh/ha) y un 13% de este contenido energético disponible en los gases podría ser transformado en energía eléctrica, obteniéndose de esta manera 1980 MJ/ha (550 kWh/ha), con un índice de generación de energía eléctrica de 115.20 kWh/t maíz (619 kWh/t tusa kWh/t tusa). La figura 3 representa el diagrama de Sankey de la conversión de la energía de la tusa en energía eléctrica.



**Fig. 3-**Diagrama de Sankey para el escenario de aprovechamiento energético de la tusa de maíz.

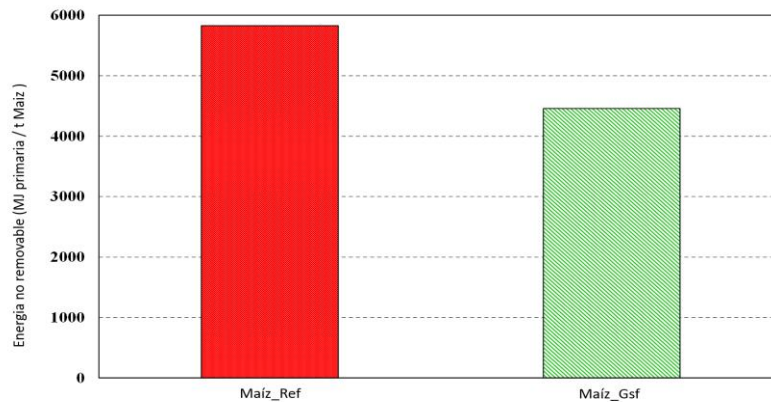
### Resultados del análisis comparativo de ciclo de vida

El ACV comparativo de la cadena productiva de maíz considerando los dos escenarios mostró una reducción del índice específico de emisión de gases de efecto invernadero equivalente de 913 kg CO<sub>2</sub>-eq / t maíz en el primer escenario a y 797 kg CO<sub>2</sub>-eq / t maíz en el segundo escenario (Ver figura 4).



**Fig. 4-** Emisiones específicas de CO<sub>2</sub>-eq para los escenarios evaluados.

Una reducción de 1369 MJ/ t maíz en el consumo de energía no renovable fue observada en el segundo escenario con respecto al primero, como se evidencia en la figura 6.



**Fig.6-** Consumo de energía no renovable para los escenarios evaluados.

La tabla 6 muestra el resumen de la huella de carbono específica para los dos escenarios.

**Tabla 6.** Índices de emisión específica de CO<sub>2</sub>-eq y consumo específico de energía primaria fósil

Calentamiento Global	kg CO <sub>2</sub> -eq/tm maíz	kg CO <sub>2</sub> -eq/tm Tusa de maíz	t CO <sub>2</sub> -eq/ha
<i>Maiz_Ref</i>	913	5823	5.1
<i>Maiz_Gsf</i>	797	5083	4.5
Energía No renovable	MJ Primaria/ tm Maíz	GJ Primaria / Tm Tusa de maíz	GJ Primaria /ha Tusa de maíz
<i>Maiz_Ref</i>	5828	37.17	32.64
<i>Maiz_Gsf</i>	4459	28.44	24.97

## Conclusiones

Los estudios realizados muestran que en la provincia de Los Ríos y Guayas de Ecuador se generan aproximadamente 0.186 toneladas de tusa por cada tonelada de maíz producido, con productividad de 4.72 tm/ha por cosecha y un potencial energético de 15.72 GJ/ha por cosecha.

Utilizando la tusa en tecnologías de gasificación y generación de electricidad con MCI a gas, es posible, después de la sustitución de gasolina por gas de gasificación en el motor de la desgranadora de maíz, obtener un potencial energético de 1980 MJ/ha por cosecha y un índice de generación eléctrica equivalente de 115.20kWh/tonelada de maíz.

Por otra parte, la huella de carbono en términos de emisiones de gases de efecto invernadero para los escenarios evaluados en este trabajo con y sin aprovechamiento energético de los residuos de tusa de maíz fue de 913 kg CO<sub>2</sub>-eq/t maíz y 797 kg CO<sub>2</sub>-eq/t maíz, respectivamente, lo cual condujo a una reducción de emisiones de 12.7% motor de la desgranadora y producción de energía eléctrica excedente para comercialización en la red eléctrica nacional.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador y las Agencias de Financiamientos CNPq, Capes, y Fapemig.

## Referencias bibliográficas

1. JOHNSON Thomas G., IRA Altman. Rural development opportunities in the bio economy. *Biomass and bioenergy*. **63**. 2014, pp:341-344.
2. THOMPSON Jena L., WALLACE E. Tyner. Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response. *Biomass and Bioenergy* **62**. 2014. pp:166 -173.
3. SEYLER, C., HOFSTETTER, T.B., HUNGERBÜHLER, K. Life cycle inventory for thermal treatment of waste solvent from chemical industry: a multi-input allocation model. *Journal of Cleaner Production*, *13*, pp.1211-1224, 2005.
4. IRUSTA, R., GARCÍA, N., NÚÑEZ, Y., NIETO, M. Análisis del ciclo de vida comparativo del tratamiento de residuos urbanos. *Residuos: revista técnica*, **96**, pp.28-36, 2006.
5. CHEN, T.C., LIN, C.F. Greenhouse gases emissions from waste management practices using life cycle inventory model. *Journal of Hazardous Materials*, *155*, pp.23-31, 2008.
6. NICLAS SCOTT Bentsen, CLAUS Felby, BO JELLES MARK Thorsen. Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Progress in Energy and Combustion Science*. **40**. 2014, pp.59-73.
7. HUANGUANG Qiu, LAIXIANG Sun, XINLIANG Xu, YAQING Cai, JUNFEI Bai. Potentials of crop residues for commercial energy production in China: A geographic and economic analysis. *Biomass and Bioenergy* **64**. 2014, pp.110 - 123.
8. MOONMOON Hiloidhari, BARUAH D.C. Gis. Mapping of rice straw residue for bioenergy purpose in a rural area of Assam, India. *Biomass and Bioenergy* **71**, 2014, pp.125-133.
9. BROSOWSKI André, THRÄN Daniela, MANTAU Udo, MAHRO Bernd, ERDMANN Georgia, ADLE Philipp, STINNER Walter, REINHOLD GERD, HERING Thomas, BLANKE Christian. A review of biomass potential and current utilisation -Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. *Biomass and Bioenergy* **95**. 2016, pp.257-272

10. SUZUKI Kazunobu, TSUJI Nobuyuki ,SHIRAI Yoshihito , MOHDAlI Hassan, OSAKI Mitsuru. Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia. *Biomass and Bioenergy* 2017, pp.149-154.
11. ALDANA Hugo, LOZANO Francisco J., ACEVEDO Joaquín. Evaluating the potential for producing energy from agricultural residues in Mexico using MILP optimization. *Biomass and Bioenergy* **67**. 2014, pp.372 – 389.
12. LIJUN Wang, ABOLGHASEMShahbazi, MILFORD A. Hanna. Characterization of corn stover, distiller grains and cattle manure for thermochemical conversion. *Biomass and Bioenergy* **35**. 2011, pp.171-178.
13. BIAGINI Enrico, BARONTINI Federica, TOGNOTTI Leonardo. Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *BioresourceTechnology* **173**. 2014, pp.110–116.
14. CARPENTER Daniel L., BAIN Richard L., RYAN E. Davis, DUTTA Abhijit, CALVIN J. Feik, GASTON Katherine R., JABLONSKI Whitney, PHILLIPS Steven D., and NIMLOS Mark R.. Pilot-Scale Gasification of Corn Stover, Switchgrass, Wheat Straw, and Wood: 1.Parametric Study and Comparison with Literature. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2010, **49**, pp.1859–1871
15. POOJA VIJAY Ramamurthi, FERNANDES Maria Cristina, PER SIEVERTS Nielsen, CLEMENTE Pedro Nunes. Utilization of rice residues for decentralized electricity generation in Ghana: An economic analysis. *Energy* **111**. 2016, pp.620-629.
16. PRADO Juliana M., VARDANEGA Renata, NOGUEIRA Gislaine C., FORSTER-CARNEIRO Tania, ROSTAGNO Mauricio A., MAUGERI FILHO Francisco,MEIRELESAngela A. Valorization of Residual Biomasses from the Agri-Food Industry by Subcritical Water Hydrolysis Assisted by CO<sub>2</sub>. *Energy Fuels* 2017, 31, pp.2838–2846.
17. SOKHANSANJ S., MANI S.,TAGORE S., TURHOLLOW A.F. Techno-economic analysis of using corn stover to supply heat and power to a corn ethanol plant – Part 1: Cost of feedstock supply logistics. *Biomass and Bioenergy* **34**, 2010, pp.75–81



18. OTTO C, DOERING III, TIMOTHY J. O'Hare, PEART Robert M . Small scale gasification of biomass: The case of corn cob gasifiers. *Enegy*. **4**. 1979, pp.235-248.
19. Boletín Situacional Maíz Duro Seco (2017). Coordinación general del Sistema de Información Nacional. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Disponible en Web: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/iboletin-maiz-duro-seco-2014-actualizado.pdf>
20. Lesme Jaén R, Oliva Ruiz O, (2006) Coeficientes de residuos de la industria forestal. *Revista Tecnología Química*. **26** (3), pp. 26-29. ISSN 0041-8420
21. Eduardo Roberto, (2015). Análisis de características de la tusa de maíz. Disponible en la Web: [www.academia.edu/12509163](http://www.academia.edu/12509163)
22. LESME JAÉN R. OLIVA RUIZ O. Potencial energético de los residuos de la industria de la madera en el aserrío El Brujo de la Empresa Gran Piedra Baconao, Santiago de Cuba, para la Generación de energía eléctrica a partir de un grupo gasificador-motor de combustión interna-generator eléctrico. *Revista Tecnología Química*. **30** (1). 2010. ISSN 0041-8420. pp. 97-101.
23. MUHAMMAD MUBASHAR Omar, ANJUMMunir, MANZOOR Ahmad, ASIF Tanveer. Downdraft gasifier structure and process improvement for high quality and quantity producer gas production. *Journal of the.Energy.Institute*. 2017, pp.1-11
24. ARUN K., VENKATA RAMANAN M. Comparative studies on gasification of corn cob, Casuarina wood and coconut shell in a fixed bed gasifier. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2016, **8**(7),pp.544-552
25. WANGA Jiang-Jiang, YANG Kun, XU Zi-Long, FU Chao, ZUN-KAI ZHOU Li Li. Combined methodology of optimization and life cycle inventory for a biomass gasification based BCHP system. *Biomass and Bioenergy* **67** 2014, pp.32-45.
26. PERPIÑÁ C., ALFONSO D., PEREZ-NAVARRO A., PEÑALVO E., VARGAS CÁRDENAS C., R. Methodology based on Geographic Information

Systems for biomass logistics and transport optimization. *Renewable Energy* 34 2009, pp. 555–565.

27. TURCONI Roberto, BOLDRIN Alessio, ASTRUP Thomas. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **28**, 2013, pp. 555–565.

28. THU LAN T. Nguyen, HERMANSEN John E. Life cycle environmental performance of miscanthus gasification versus other technologies for electricity production. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* **9**. 2015, pp.81–94.

29. VIEIRA ANDRADE R, LESME JAEN René, SILVA LORA Electo Eduardo. Análise da operação de um gaseificador de leito fixo com duplo estágio acoplado a um motor de combustão interna de ignição por centelha para conversão de biomassa em energia elétrica. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, VI National Congress of Mechanical Engineering 18 a 21 de Agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brasil August 18 – 21, 2010. ISSN 2178-180X

30. XIAOLEI Gu, ZUOHUA Huang, JIAN CAI, JING Gong, XUESONG Wu, LEE Chia-fon. Emission characteristics of a spark-ignition engine fuelled with gasoline-n-butanol blends in combination with EGR. *Fuel* **93**. 2012, pp.611–617.

31. MUÑOZ VIZHÑAY Patricio. Análisis de la matriz energética ecuatoriana. Disponible en Web: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) (2013.)

32. Beatriz Donato Lidia. Estimación del consumo potencial de Gasoil para las tareas agrícolas, transporte y secado de granos. Informe inédito. Disponible en web: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-consumo3.pdf> , Año 2008.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.