

HUELLA DE CARBONO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR. EVALUACIÓN AGRÍCOLA DE UN CASO DE ESTUDIO DE LA AMAZONIA ECUATORIANA.

CARBON FOOTPRINT IN SUGAR CANE CULTIVATION. AGRICULTURAL EVALUATION OF A CASE STUDY OF THE ECUADORIAN AMAZON

PEGADA DE CARBONO NA CULTIVAÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR. AVALIAÇÃO AGRÍCOLA DE UM ESTUDO DE CASO DA AMAZÔNIA EQUADOR

Angy Isabel Soto-Cabrera

Departamento Ciencias de la Vida, Programa Gestión y conservación ambiental, Universidad Estatal Amazónica, km 2 1/2 Vía Tena, Puyo, Pastaza, Ecuador.

E-mail: amb2015455@uea.edu.ec

Alexandra Paola Panimboza-Ojeda

Departamento Ciencias de la Vida, Programa Gestión y conservación ambiental, Universidad Estatal Amazónica, km 2 1/2 Vía Tena, Puyo, Pastaza, Ecuador.

E-mail: amb2015454@uea.edu.ec

Anghello Ramones-Pinargote

Departamento Ciencias de la Vida, Programa Gestión y conservación ambiental, Universidad Estatal Amazónica, km 2 1/2 Vía Tena, Puyo, Pastaza, Ecuador.

E-mail: amb2015649@uea.edu.ec

Amaury Pérez-Martínez

Departamento Ciencias de la Tierra, Programa Gestión y conservación ambiental, Universidad Estatal Amazónica, km 2 1/2 Vía Tena, Puyo, Pastaza, Ecuador. E-mail: amperez@uea.edu.ec

Liliana Bárbara Sarduy-Pereira

Unidad Educativa Fiscomisional Cristóbal Colón, Shell, Mera, Pastaza, Ecuador. E-mail: lilianasarduy79@gmail.com

Karel Diéguez-Santana

Departamento Ciencias de la Vida, Programa Gestión y conservación ambiental, Universidad Estatal Amazónica, km 2 1/2 Vía Tena, Puyo, Pastaza, Ecuador. E-mail: kdieguez@uea.edu.ec

Fecha de Recepción: 18 de mayo de 2020

Fecha aprobación: 4 de julio de 2020

Resumen

La caña de azúcar es un cultivo económicamente importante en Ecuador, en el 2016 representó el 3,30% del producto interno bruto (PIB). Es considerada una fuente directa e indirecta de empleo para alrededor de 110 000 habitantes de la población. Este trabajo evalúa las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la producción de caña de azúcar de un caso de estudio de la amazonia ecuatoriana. La metodología empleada es la herramienta Cool Farm Tool, basada en los métodos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Los resultados de este estudio muestran que la producción de una tonelada de caña de azúcar presenta una huella de carbono (HC) de 50 kg CO₂ equivalente h⁻¹. Se descubrió que la aplicación en campo directa e indirecta de N₂O y el manejo de residuos de cosecha afectan significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La metodología empleada y los resultados obtenidos pueden ser referenciales para estudiar otras extensiones agrícolas de caña de azúcar en la amazonia ecuatoriana. Finalmente, se sugiere que se realicen evaluaciones posteriores de productos que se obtienen con la caña de azúcar para proporcionar información relevante sobre la contribución.

Palabras clave— Calentamiento global, Cambio climático, Cultivos, Cool Farm Tool, Impactos ambientales

Abstract

Sugar cane is an economically important crop in Ecuador, in 2016 it represented 3.30% of the gross domestic product (GDP). It is considered

a direct and indirect source of employment for around 110,000 inhabitants of the population. This work evaluates the emissions of Greenhouse Gases (GHG) from the production of sugarcane from a case study of the Ecuadorian Amazon. The methodology used is the Cool Farm Tool, based on the methods proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results of this study show that the production of a ton of sugar cane has a carbon footprint (HC) of 50 kg CO₂ equivalent h⁻¹. Direct and indirect field application of N₂O and crop residue management were found to significantly affect greenhouse gas (GHG) emissions. The methodology used and the results obtained can be referential to study other agricultural extensions of sugar cane in the Ecuadorian Amazon. Finally, it is suggested that subsequent evaluations of products obtained with sugar cane be carried out to provide relevant information on the contribution.

Keywords— Global warming, Climatic change, Crops, Cool Farm Tool, Environmental impacts.

Resumo

A caixa de açúcar é um cultivo econômico importante no Equador, no ano de 2016 representa 3,30% do produto interno bruto (PIB). É considerado um combustível direto e indireto para a redução de 110.000 habitantes da população. Este trabalho avalia as emissões de Gases de Efeito Invernadero (GEI) da produção de caña de açúcar de um caso de estudo da amazônia ecuatoriana. A metodologia implementada é a ferramenta Cool Farm Tool, baseada nos métodos propostos pelo Painel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Os resultados deste estudo mostram

que a produção de uma tonelada de açúcar em caixa apresenta uma quantidade de carbono (HC) de 50 kg de CO₂ equivalente h⁻¹. Se você usar o campo de aplicação direta e indireta de N₂O e o filtro de resíduos afetados, poderá afetar as emissões de gases de efeito estufa (GEI). A metodologia empregada e os resultados obtidos são referenciados para estudos de outras extensões agrícolas de café de açúcar na Amazônia equatoriana. Por fim, sugira que avaliadores posteriores de produtos que obtêm com a caixa de açúcar para obter informações relevantes sobre a contribuição.

Palavras chave— Aquecimento global, Mudança climática, cultivos, Cool Farm Tool, impactos ambientais.

Introducción

La caña de azúcar es mundialmente uno de los principales cultivos energéticos, se cultiva comercialmente en muchos países tropicales y subtropicales para apoyar el desarrollo económico y las necesidades sociales [8]. Es un cultivo de alta energía de biomasa, y tiene el potencial de convertir hasta el 6,7% de la energía solar durante la fotosíntesis en biomasa primaria [2], [18].

La industria de la caña de azúcar es importante para la economía de Ecuador, ya que según datos de la Corporación Financiera Nacional aporta alrededor del 3,30% del PIB para el 2016, mientras que, según el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador, toda la cadena productiva de esta materia prima genera alrededor de 30,000 fuentes de empleo directos y unos 80,000 indirectos. El cultivo de la caña de azúcar representa el 7,35 % de la superficie nacional plantada por cultivos

permanentes, produciendo alrededor de 7.502 miles de Tm según el Instituto Nacional de Estadística y Censos y la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC).

Mientras, el informe del IPCC del año 2014, indica que el 24% del total de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (49 Gt CO₂eq) es aportado por la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra. En este sentido la fracción mayoritaria de las emisiones de este sector provienen principalmente de la agricultura (cultivo de cultivos y ganado) y la deforestación [10]. Reportes de (Figueiredo, Panosso, Romão, y La Scala Jr, 2010), [5], informaron que la emisión del cultivo de la caña de azúcar era de alrededor de 2,41 a 3,24 toneladas de CO₂eq por hectárea. Estas investigaciones incluían el área manejada por prácticas de quema y las emisiones relacionadas con la fabricación de fertilizantes, herbicidas y pesticidas.

Existen varios métodos para estimar los GEI de la agricultura, y se han desarrollado varias herramientas y calculadoras para estimar los flujos de GEI de las actividades agrícolas y para apoyar la toma de decisiones en términos de identificación de intervenciones informadas. Este documento presenta un estudio de caso utilizando una versión modificada de The Cool Farm Tool (CFT) desarrollada por [9], que integra varios modelos empíricos en una herramienta para la estimación de GEI de las actividades agrícolas. La calculadora emplea varios factores específicos del contexto que influyen en las emisiones de GEI, como las características climatológicas, los insumos de producción y otras prácticas de gestión a nivel de finca.

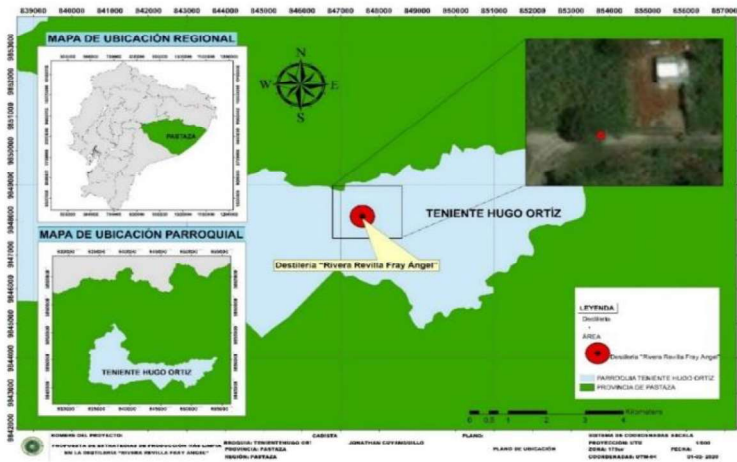
Por lo tanto, considerando que, en la provincia de Pastaza, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es el cultivo con mayor expansión, con 6.354 hectáreas de cultivos permanentes de esta materia prima según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza. El objetivo principal de este estudio es cuantificar las emisiones de GEI de la producción de caña de azúcar de un caso de estudio en la amazonia ecuatoriana, específicamente en la finca de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” la cual posee alrededor de 5 ha de este cultivo, y a la vez comparar estos impactos con los de otros países que utilizan otras técnicas de cultivo y presentan diferentes rendimientos de la caña de azúcar.

Materiales y métodos

A. Área de estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en la finca de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” la cual se encuentra ubicada en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, en la parroquia teniente Hugo Ortiz dentro de la comunidad “Mariscal Sucre”, a una altitud aproximada de 952 msnm. De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Teniente Hugo Ortiz, este lugar cuenta con un clima cálido húmedo, de tal forma un 77,57% del territorio esta predominado por un clima megatérmico lluvioso, mientras que el 22,43% restante cuenta con un clima tropical megatérmico húmedo. En la Figura 1 se observa el área delimitada.

Fig. 1. Área de estudio en la Amazonía ecuatoriana.



Fuente: Autores del proyecto

B. Descripción del proceso de cultivo de la caña de azúcar en la finca.

En la finca de la destilería "Rivera Revilla Fray Ángel" para el cultivo de la caña (*Saccharum officinarum*) de las variedades limeña y morada, se emplea principalmente prácticas agrícolas tradicionales, el arado y labrado de la tierra o preparación de la tierra lo realizan con mulares. La recolección se realiza manualmente, solo participan miembros de la familia, y trabajadores del lugar. La fertilización se realiza en base de NPK 10-30-10 el cual es un fertilizante complejo granular con una alta proporción de fósforo y contenidos complementarios de nitrógeno y potasio, por otro lado, la paja resultante del mismo cultivo sirve como fertilizante natural y/o herbicida controlando el crecimiento de malezas en el campo y como materia orgánica (León-Martínez, Dopíco-Ramírez, Triana-Hernández, y Medina-Estevez, 2013); que se encuentran disponibles comercialmente para el crecimiento de los cultivos a nivel nacional. Para controlar la propagación de malezas dentro de los cultivos de caña se hace presente el uso de gramoxone en cualquier época del año. No se emplea riego, debido a que las precipitaciones en Pastaza superan los 4990,6 mm anuales según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

C. Obtención de los datos y fuentes de información

Los datos empleados en esta evaluación son el promedio anual de la finca. Por lo tanto, los datos para los insumos de cultivo de caña de azúcar se obtuvieron principalmente de

investigaciones de campo y bibliografía especializada, al igual que entrevistas a los dueños de la finca. La información abarcó el consumo de agroquímicos, al igual que fertilizantes naturales y químicos y detalles del rendimiento del cultivo de caña. Los datos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de consumos para la producción de caña de azúcar, en función de una hectárea producida

Indicador	Unidad de medida	Valor	Fuente
Fertilizantes y productos químicos			
NPK 10-30-10	kg	50	Propia
Residuos de cosecha (paja más cogollo y hojas)	kg	281.8	(León-Martínez et al., 2013)
Gramoxone	L	1	Propia
Producto			
Rendimiento de la caña de azúcar	t/ha	75	Propia

Fuente: Autor

Para estimar los valores del total de residuos de caña se consideraron dos tipos de biomasa, se tiene por un lado el cogollo y hojas verdes y por otro la vaina y hojas secas (paja) se tomó en cuenta lo estipulado por León-Martínez et al. (2013), donde alrededor del 28% del cultivo de caña corresponde a biomasa compuesta, siendo el 71,8% de tallos limpios. Adicionalmente, un estudio en Ecuador determinó que se obtienen 161 kg de residuos por cada tonelada de tallos, además 13,89 toneladas de residuos en base seca en los campos, con rendimientos de tallos promedio de 86 ton ha⁻¹ [17].

D. Herramienta de evaluación de emisiones

Para la cuantificación de las emisiones de GEI se seleccionó la herramienta Cool Farm Tool (CFT), versión 2.0 Beta 3 debido a que este software requiere información de la o las fincas, la misma que se encuentra fácilmente disponible. Al existir un amplio margen para su uso en encuestas mundiales se puede informar sobre las prácticas actuales y el potencial de mitigación [9], lo cual es análogo al estudio debido a nuestro objetivo (saldos de GEI de toda la finca), el área geográfica (Ecuador, sistemas tropicales) y la gama de fuentes y sumideros que queríamos capturar (emisiones y remociones de GEI de cultivos). La herramienta CFT es una calculadora de GEI de código abierto que también se ha evaluado para diferentes regiones y cultivos agrícolas.

Está basada en hojas de cálculo en Excel, que agrupan desde las emisiones en la finca en las diversas etapas de producción, hasta el manejo de residuos y transporte del producto, incluyendo las emisiones de fondo del suelo y las inducidas por la fertilización; secuestro de C en suelos, biomasa aérea y subterránea; y emisiones no agrícolas de la producción de agroquímicos y otros insumos. Los datos de las actividades agrícolas fueron obtenidos de entrevista con los propietarios y cuantificados a nivel de finca. Mientras que los análisis de suelo abarcaron la revisión bibliográfica a nivel de la provincia de Pastaza en donde se determinaron los criterios necesarios para la herramienta: textura media (franco arcilloso y franco arcilloso limoso), materia orgánica del suelo

(MOS) de 5,65%, húmedo, buen drenaje y pH igual o inferior a 5,12 [15]. Por otro lado, es importante mencionar que no se consideraron especies de árboles en el área para el secuestro del C puesto que el área de estudio está cubierta en su totalidad por el cultivo de caña. Los resultados finales, también conocidos como la huella de carbono del producto (HC), se calculan como la relación de emisiones anuales (kg CO₂ eq ha⁻¹) y productividad agrícola (kg de CO₂ eq t⁻¹).

Resultados

A. Rendimiento de caña

El análisis del rendimiento de la finca “Rivera Revilla Fray Ángel” durante un año, muestra que se producen 75 t ha⁻¹, este valor es similar a los rendimientos de la producción nacional siendo de 75,89 t ha⁻¹ [1]. De igual manera, estas cifras son comparables al rendimiento promedio mundial de la caña de azúcar que es de aproximadamente 71 t ha⁻¹ [13].

B. Emisiones de gases de efecto invernadero por etapas

La tabla 2 presenta los resultados de las emisiones de GEI según cada fuente de emisión considerada en el estudio. Basados en el escenario en un año de estudio, el total de GEI emitidos por la finca “Rivera Revilla Fray Ángel” fue de 3751,9 kg de CO₂ eq por hectárea cultivada, correspondiendo a 50 kg de CO₂ eq por tonelada de caña producida.

Tabla 2. Resultados de la cuantificación de emisiones de GEI del cultivo de la caña de azúcar total, por una hectárea y una tonelada de caña de azúcar producida

Caña de azúcar	CO ₂	N ₂ O	Emisiones total del área (kg CO ₂ eq)	Por hectárea	Por tonelada
Manejo de residuos de cultivos		31,6	9340,5	1868,1	24,9
Campo directo e indirecto N₂O		30,5	9031,6	1806,3	24,1
Producción de fertilizantes	240		240	48	0,6
Pesticidas	102,5		102,5	20,5	0,3
Transporte fuera de la finca	45,1		45,1	9	0,1
Totales	387,6	62,1	18759,7	3751,9	50

Fuente: Autor

En términos de CO₂ equivalente la mayor cantidad de emisiones viene dada por el manejo de residuos de cultivo con un 49,8% y la aplicación en campo directa e indirecta de N₂O con un 48,20% con un valor de 24,9 kg CO₂eq t⁻¹ y 24,1 kg CO₂eq t⁻¹ respectivamente. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Andrade, Segura, y Varona [1], en donde el uso directo e indirecto de N₂O por el uso de fertilizantes nitrogenados es una de los rubros que más aporte tiene a las emisiones de GEI. Por otro lado, la producción de fertilizantes, el uso de pesticidas y el transporte fuera de la finca son relativamente menores con porcentajes de 1,20%, 0,60% y 0,20% respectivamente. A diferencia de un estudio realizado por López Astudillo et al. (2018), [14] en el Valle del Cauca Colombia y un estudio en Guatemala Reinoso-Valladares, Canciano-Fernández, Hernández-Garcés, Ordoñez-Sánchez, y Figueroa-Beltrán (2018), [19], donde mencionan que el uso de combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte son las

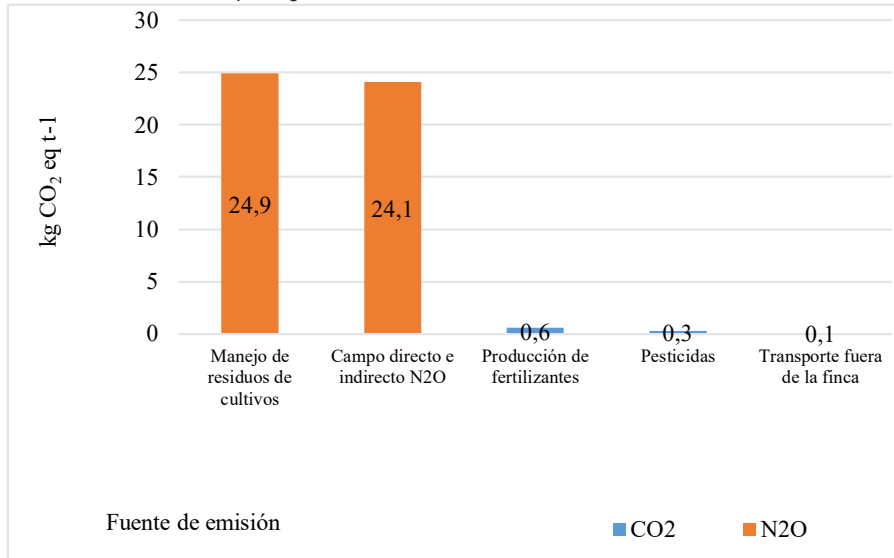
principales fuentes de emisión de GEI, en donde los resultados arrojan que la mayor cantidad de emisiones de CO₂eq en la producción de caña de azúcar viene del uso directo e indirecto de combustibles fósiles. Además, la HC dependerá de las prácticas tradicionales o tecnificadas agrícolas y el manejo del cultivo de cada agricultor, por lo que los resultados pueden variar ampliamente entre un caso y otro.

Por otro lado, en la figura 2 se puede observar las fuentes de emisión de CO₂eq en base a los principales GEI que las conforman. Considerando que el N₂O convertido en CO₂eq tiene un Potencial de Calentamiento de Global de 296 (296 veces más potente que el CO₂), es el principal contribuyente a las emisiones de CO₂eq con un valor de 49 kg CO₂eq t⁻¹, representado el 98% del total de emisiones, por otro lado, el CO₂ representa el 2% restante con un valor de 1 kg CO₂eq t⁻¹. Esto resultados son relativos a lo anteriormente expresado en las fuentes de emisión, donde

el manejo de residuos de cultivos y la aplicación en campo directa e indirecta de N_2O dada por el uso de fertilizantes nitrogenados y en especial por la aplicación directa de la paja resultante de la cosecha contribuyen a la formación de contenido

residual de N el cual se convierte en N_2O mediante nitrificación, oxidación aeróbica microbiana de amonio a nitrato y desnitrificación (proceso dado por la reducción microbiana anaeróbica) (De Figueiredo et al., 2010).

Fig. 2. Emisiones directas e indirectas de CO_2 y N_2O convertidos en CO_{2eq} de cada una de las fuentes de emisión de la finca "Rivera Revilla Fray Ángel"



Fuente: Autores del proyecto

De esta forma, las emisiones de N_2O son responsables de una parte sustancial de todas las cantidades de CO_{2eq} generados en las fuentes de emisión y se considera como un elemento clave y que tiene un mayor efecto en la creación de inconsistencia en el potencial de calentamiento global, no solo en este caso de estudio, sino también en los realizados por De Figueiredo et al. (2010).

C. Comparación con otros estudios

Los resultados obtenidos son similares a los de la Región Sur, Nchalo, República de Malawi, en África Subsahariana que reportaron emisiones de 46 kg CO_{2eq} t^{-1} de caña de

azúcar [6], por otra parte, los mismos son superiores a los resultados obtenidos en cultivos de Tailandia por Nguyen y Gheewala (2008), [16], cuya emisión de GEI es de 38kg CO_{2eq} t^{-1} y a los 31 kg CO_{2eq} t^{-1} obtenidos en Brasil de Figueiredo et al. (2010), es importante mencionar que estos resultados son bajos debido a que los lugares mencionados se utiliza la técnica de cosecha en verde, la cual consiste, en la utilización de maquinaria especializada para cortar y alzar la caña, evitando así el uso tradicional de la quema, reduciendo la cantidad de emisiones contaminantes y a su vez favoreciendo directamente a la salud de los trabajadores

que laboran en la cosecha de los cañaverales.

En Fiji, país insular de Oceanía, en la evaluación del análisis de ciclo de vida y con el empleo del modelo CML, obtienen un potencial de calentamiento global de 79,85 kg de CO_{2eq} para una tonelada de caña transportada hasta el ingenio azucarero (Chandra, Hemstock, Mwabonje, De Ramon N'Yeurt, y Woods, 2018), [4]. De igual manera, en Australia Renouf, Wegener, y Pagan (2010), [20], obtiene un valor de 77,9 kg de CO_{2eq}. Las diferencias encontradas se deben a diferentes distancias de transporte y diferentes técnicas de preparación del terreno, por lo tanto, una diferencia en el uso de combustible.

Conclusiones

Se analizaron las emisiones de GEI de la producción de caña de azúcar en una finca de cultivo de caña de azúcar en la amazonia ecuatoriana. En particular, se descubrió que el manejo de residuos de cultivo y la aplicación en campo directa e indirecta de N₂O son la principal fuente de emisiones GEI. De tal forma, los principales gases asociados para el cultivo de la caña de azúcar en este estudio fueron el N₂O y el CO₂, con valores de 49 kg CO_{2eq} t⁻¹ y 1 kg CO_{2eq} t⁻¹ respectivamente. Por lo que, en las condiciones locales estudiadas, producir una tonelada de caña de azúcar, emite 50 kg CO₂ equivalente. Estos resultados conducirán a una evaluación adicional de los productos y sistemas de caña de azúcar de Ecuador. Además, se recomienda estudiar y analizar otros impactos ambientales que puede generar el cultivo de la caña de azúcar sistemas locales y regionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios la finca y destilería "Rivera Revilla Fray Ángel" por permitir el acceso a las instalaciones y a la información de la actividad.

Referencias bibliográficas

- [1] Andrade, H., Segura, M., y Varona, J. (2015). Estimation of the carbon footprint of the production system of sugar cane (*Saccharum officinarum*) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(1), 19-27.
- [2] Arteaga-Pérez, L. E., Segura, C., y Santana, K. D. (2016). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *Afinidad*, 73(573), 60-68.
- [3] Carmo, J. B. D., Filoso, S., Zotelli, L. C., De Sousa Neto, E. R., Pitombo, L. M., Duarte-Neto, P. J., . . . Martinelli, L. A. (2013). Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in brazil: Effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GCB Bioenergy*, 5(3), 267-280. doi:10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x
- [4] Chandra, V. V., Hemstock, S. L., Mwabonje, O. N., De Ramon N'Yeurt, A., y Woods, J. (2018). Life Cycle Assessment of Sugarcane Growing Process in Fiji. *Sugar Tech*, 20(6), 692-699. doi:10.1007/s12355-018-0607-1

- [5] de Figueiredo, E. B., Panosso, A. R., Romão, R., y La Scala Jr, N. (2010). Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. *Carbon Balance and Management*, 5. doi:10.1186/1750-0680-5-3
- [6] Dunkelberg, E., Finkbeiner, M., y Hirschl, B. (2014). Sugarcane ethanol production in Malawi: Measures to optimize the carbon footprint and to avoid indirect emissions. *Biomass and Bioenergy*, 71, 37-45. doi:10.1016/j.biombioe.2013.10.006
- [7] FAO. (2018). FAOSTAT [Estadísticas de cultivos]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- [8] García-Prado, R., Pérez-Martínez, A., Diéguez-Santana, K., Mesa-Garriga, L., González-Herrera, I., González-Cortés, M., y González-Suarez, E. (2015). Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol. *Revista Facultad de Ingeniería*(75), 130-142. doi:10.17533/udea.redin.n75a13
- [9] Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., y Smith, P. (2011). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling and Software*, 26(9), 1070-1078. doi:10.1016/j.envsoft.2011.03.014
- [10] IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of climate change. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, y A. Adler (Eds.), Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2014 Annual Report). Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Ledón, Y. C., Pérez, L. E. A., Santana, K. D., Domínguez, E. R., y Pérez, M. C. M. (2015). Introduction of SOFC Technology into Cuban Energy Sector: Technical and Sustainability Analysis. *Journal of Chemical Engineering Research Updates*, 2, 36-50. doi:10.15377/2409-983X.2015.02.02.1
- [12] León-Martínez, T. S., Dopíco-Ramírez, D., Triana-Hernández, O., y Medina-Estevez, M. (2013). Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(2), 13-22.
- [13] Lisboa, C. C., Butterbach-Bahl, K., Mauder, M., y Kiese, R. (2011). Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases – known and unknowns. *GCB Bioenergy*, 3(4), 277-292. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01095.x
- [14] López Astudillo, A., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., Abadía López, J., Orozco, O. A., Sandoval, J. S., y Arenas, F. (2018). Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de

caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 3-17.

- [15] Martín, N. J., y Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 00-06.
- [16] Nguyen, T. L. T., y Gheewala, S. H. (2008). Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(4), 301. doi:10.1007/s11367-008-0011-2
- [17] Núñez, O., y Spaans, E. (2008). Evaluation of green-cane harvesting and crop management with a trash-blanket. *Sugar Tech*, 10(1), 29-35. doi:10.1007/s12355-008-0005-1
- [18] Pippo, W. A., Luengo, C. A., Alberteris, L. A. M., Garzone, P., y Cornacchia, G. (2011). Energy recovery from sugarcane-trash in the light of 2nd generation biofuels. Part 1: Current situation and environmental aspects. *Waste and Biomass Valorization*, 2(1), 1-16. doi:10.1007/s12649-010-9048-0
- [19] Reinoso-Valladares, M., Canciano-Fernández, J., Hernández-Garcés, A., Ordoñez-Sánchez, Y. C., y Figueroa-Beltrán, I. (2018). Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. *Tecnología Química*, 38(2), 437-445.
- [20] Renouf, M. A., Wegener, M. K., y Pagan, R. J. (2010). Life cycle assessment of Australian sugarcane production with a focus on sugarcane growing. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(9), 927-937. doi:10.1007/s11367-010-0226-x