

# Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio

*Carbon footprint in the sugar industry. Case study*

*MSc. Mirtha Reinoso-Valladares<sup>I</sup>, mirtha@ciiq.minem.cu, Ing. Janet Canciano-Fernández<sup>I</sup>,  
Dr. Anel Hernández-Garcés<sup>II</sup>, Ing. Yan Carlos Ordoñez-Sánchez<sup>I</sup>,  
MSc. Irays Figueroa-Beltrán<sup>III</sup>*

<sup>I</sup>Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, La Habana, Cuba. <sup>II</sup>Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba. <sup>III</sup>Empresa Azucarera de Guantánamo, Cuba

## Resumen

La huella de carbono permite cuantificar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en términos de dióxido de carbono equivalente que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. En este trabajo se estima la huella de carbono en la producción de azúcar, seleccionándose como objeto de estudio el central azucarero "Argeo Martínez", ubicado en la provincia de Guantánamo. Se consultó principalmente, la metodología establecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático con el empleo de factores de emisión publicados por diferentes fuentes para el inventario de las emisiones correspondientes a las zafas 2014-2015 y 2015-2016. Como resultado se obtuvieron los totales de gases de efecto invernadero estimados para los periodos analizados de 8 126,09 tCO<sub>2</sub>eq y 5 099,76 tCO<sub>2</sub>eq. Se determinó la huella de carbono en 0,27kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar y 0,26kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar respectivamente, valores que pueden ser comparados con otros centrales del país.

**Palabras clave:** central azucarero, dióxido de carbono equivalente, gases de efecto invernadero, huella de carbono.

---

## Abstract

Carbon footprint allows quantifying the amount of greenhouse gas emissions in terms of carbon dioxide equivalent that are released to the atmosphere as a result of the development of any activity. In this paper, the carbon footprint in sugar production is estimated, and the sugar mill "Argeo Martínez", located in the province of Guantanamo, is selected as the object of study. The methodology established by the Intergovernmental Panel on Climate Change was based on the use of emission factors published by different sources for the inventory of the emissions corresponding to the 2014-2015 and 2015-2016 harvests. As a result, the estimated greenhouse gas totals were obtained for the analyzed periods of 8 126, 09 tCO<sub>2</sub>eq and 5 099, 76 tCO<sub>2</sub>eq. Carbon footprint was determined at 0,27kgCO<sub>2</sub>/kg sugar and 0,26kgCO<sub>2</sub>/kg sugar respectively. These values can be compared with other plants in the country.

**Keywords:** sugar mill, carbon dioxide equivalent, greenhouse gases, carbon footprint.

## Introducción

Uno de los impactos más significativo ocasionado por el cambio climático viene dado en la agricultura, específicamente lo relacionado con los rendimientos agrícolas. Diversos autores señalan que como tendencia, el cambio climático influirá negativamente en ello afectando numerosos cultivos y provocando disminuciones progresivas a todo lo largo del siglo XXI. Se estima que esto alcanzará valores del 10 al 25 % para la mayoría de los cultivos en el 2100 con relación a los rendimientos actuales /1/.

El cultivo de la caña de azúcar, puede presentarse como una de las alternativas para contrarrestar estos daños. Los estudios han demostrado, que una hectárea de caña elimina de la atmósfera 60t de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), efecto similar al de un bosque de latitudes medias, aunque cabe señalar que por el proceso tecnológico se emiten 18t, para un saldo neto de 42t /2/.

Sin embargo, este monocultivo se ha caracterizado por elevados niveles de insumos externos, fundamentalmente combustibles fósiles, maquinaria agrícola pesada y agroquímicos que incrementan los impactos negativos de este sector sobre el medioambiente. En tales condiciones, se hace necesaria la aplicación de herramientas que cuantifique estas contribuciones.

Dentro de este contexto se presenta la huella de carbono (HC), como una vía de cuantificación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), medidas en CO<sub>2</sub> equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades agroindustriales /3/.

En países con tradición azucarera, se ha comenzado abordar la determinación de la HC en ingenios azucareros. Investigadores realizaron un diseño de experimento para el cálculo teórico de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por cuatro tipos de preparación del suelo para un cultivo de caña de azúcar. Con la metodología planteada se logra obtener datos experimentales y teóricos sobre las emisiones de GEI producidos por la combustión de maquinaria agrícola que pueden servir como base para futuras investigaciones en este campo y la obtención de la HC por procesos y a nivel de la organización /3/.

Por otra parte, /4/, determinaron las fuentes principales de emisiones de GEI y estimaron la HC de la producción del azúcar de Guatemala en la que se incluían: el uso de combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte (43 % para la zafra 2012-2013), uso de fertilizantes nitrogenados (24%) y las quemas de la caña antes de la cosecha (17 %). Se señala en la publicación que dicho valor corresponde a la mitad de la huella que resultaría si no se generara la electricidad utilizada en la fabricación del azúcar con el bagazo de la caña.

Posteriormente, /5/, calcularon la HC del proceso de cosecha de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. Se constata en los resultados reportados el significativo aporte de la cosecha manual cuando se practica la quema emitiéndose 28 336 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>1</sup>.

En Cuba y específicamente en el sector cañero, no abundan los trabajos relacionados con esta temática. Los autores /6/, evaluaron el impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada mediante un balance del carbón. Se registra menor emisión de carbono hacia la atmósfera, por efecto de la quema de una parte de la biomasa aérea de la caña de azúcar, por debajo de la captura o secuestro de carbono que realiza esa biomasa, por lo que el balance tiende a ser positivo. No obstante, se aclara que si bien no se incide directamente en la contaminación atmosférica por el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, el daño ocasionado al suelo es un elemento a tener en cuenta para la toma de decisiones en cuanto a eliminar el uso de la quema para la cosecha.

Luego /7/, reportan la realización del inventario de CO<sub>2</sub> provenientes de los centrales azucareros de la provincia de Mayabeque para la quema de bagazo, sin incluir el resto de los aportes tales como: combustibles fósiles, consumo eléctrico, fertilizantes químicos, quema de caña, entre otros.

Recientemente, /8/, estimaron la HC en el cultivo de la caña de azúcar en Villa Clara, demostrándose en tal sentido que el consumo de portadores energéticos, materiales no orgánicos, gases industriales empleados en las actividades de soldaduras autógenas oxiacetilenadas, así como el uso del suelo, son los aspectos ambientales con mayor peso en la magnitud de la HC en los casos de

estudios, con valores porcentuales superiores al 11 % respecto al total de emisiones de CO<sub>2</sub>eq.

Extender esta valiosa herramienta a cada una de las empresas azucareras cubanas, debe constituir una línea a seguir, principalmente por la importancia que tiene este sector en el país, del cual es preciso conocer la contribución del mismo al inventario nacional y al calentamiento global. Es por ello que el objetivo del presente trabajo se orienta a determinar la huella de carbono en la industria azucarera, tomándose como objeto de estudio al central azucarero “Argeo Martínez”, ubicado en la provincia de Guantánamo.

#### *Materiales y métodos*

La Empresa Azucarera de Guantánamo se crea a partir de la Resolución 330. /2011 del Ministerio del Azúcar con fecha del 30 de julio como consecuencia de un proceso de reestructuración que tuvo lugar en este sector. Esta empresa tiene como Unidad Empresarial de Base (UEB) el central azucarero “Argeo Martínez” y dos liquidadoras “El Salvador” y “Manuel Tames”, una fábrica de derivados y una unidad de Atención a Productores Agropecuarios. Se selecciona en tal sentido, al central azucarero “Argeo Martínez”, como fuente objeto de estudio por ser el único ingenio que se encuentra activo en la provincia más oriental de Cuba.

Se consultaron las siguientes metodologías para realizar el inventario de GEI de la producción del azúcar:

- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) “Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI /9/.
- International Sustainability et Carbon Certification (ISCC 205). Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI /10/.

Los datos de emisiones de GEI se agruparon en combustibles, fertilizantes, quema de caña, electricidad y emisiones de calderas. Los valores de consumo y cantidad de hectáreas correspondientes a las zafas 2014-2015 y 2015-2016 fueron suministrados por la Empresa Azucarera de Guantánamo.

Se estimó la huella de carbono a partir de la ecuación (1), recomendada por la Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización /11/.

$$HC = A \cdot f \quad (1)$$

donde

HC: cantidad de emisiones en términos de CO<sub>2</sub>eq (t)

A: dato de actividad, es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI.

f: factor de emisión, supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro "dato de actividad". Estos factores varían en función de la actividad que se trate.

Se selecciona como indicador de HC, la relación entre la cantidad total de GEI y el total de azúcar producida /4/.

Se utilizaron factores de emisión publicados por diferentes fuentes, los cuales se registran en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1**  
**Factores de emisión**

Categoría	Unidad	Factor de emisión	Fuente
Urea	kgCO <sub>2</sub> eq./kg N*	3,31	[12]
Fertilizantes Fosfóricos	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	1,01	[13]
Fertilizante potásico	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	0,57	[13]
Quema de caña	ton CO <sub>2</sub> /Ha	8,99	[13]
Transporte agrícola	kgCO <sub>2</sub> eq/litro de diesel	3,14	[13]

\*cantidad de nitrógeno presente en el fertilizante.

### *Resultados y discusión*

A continuación se muestran los resultados del inventario de GEI en cada una de las categorías analizadas.

En la tabla 2 se reportan las emisiones de CO<sub>2</sub>eq referidas al uso de fertilizantes químicos. Los mayores aportes vienen dado por la Urea con un contenido de nitrógeno de 46 %. Existe en la actualidad una preocupación con el uso de los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de la caña de azúcar. Los mismos están expuestos a sufrir pérdidas, que reducen la eficiencia de aprovechamiento del nutriente por parte de la planta. Esta realidad no sólo presenta implicaciones

económicas para el agricultor, sino también, repercute en forma negativa al ambiente por la emisión de GEI, específicamente del óxido nitroso /14/.

En el mercado se ha propuesto que una forma de mitigación importante para la reducción de la emisión de estos gases, es el empleo de los fertilizantes de liberación lenta y controlada /14/.

**Tabla 2**  
**Toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitido por la fertilización**

Fertilizante	tCO <sub>2</sub> eq. 2014-2015	tCO <sub>2</sub> eq. 2015-2016
Urea	0,69	0,86
Fertilizantes fosfóricos	0,38	0,39
Fertilizantes potásico	0,04	0,04
<b>Total</b>	<b>1,11</b>	<b>1,29</b>

Se obtuvieron valores significativos de CO<sub>2</sub>eq originados durante la quema de caña (tabla 3). Esta práctica milenaria se realiza con el objetivo de facilitar la visibilidad, a la hora de cortar la caña, ya que se eliminan las hojas secas y la paja, lo cual evita el deshoje manual y por tanto reduce la mano de obra campesina /15/.

Se generan durante este proceso contaminantes atmosféricos tales como: monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de azufre, gases contaminantes que inciden directamente en el aumento de enfermedades como bronquitis crónica, enfisema pulmonar y asma bronquial, entre otras, que afectan a la población colindante y en especial, a los menores /15/.

El efecto sobre el suelo fue estudiado por /8/, donde concluyeron que el monocultivo continuado con caña de azúcar utilizando la quema para la cosecha causa la degradación del suelo, mediante la disminución del carbono orgánico aún sin aplicar fertilizantes minerales.

El impacto generado por la quema de caña está en dependencia de la intensidad del fuego y la extensión del mismo. La cantidad de hectáreas quemadas de la última zafra se redujo casi a la mitad de la correspondiente con el período 2014-2015 y por ende se observa una disminución de las emisiones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

**Tabla 3**  
**Toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitidas por la quema de caña**

Zafra	Cantidad de hectáreas quemadas	tCO <sub>2</sub> eq
2014-2015	756,67	6 796,44
2015-2016	387,11	3 480,11

Las emisiones producidas por el transporte incluyen las emitidas en las labores agrícolas y el traslado de los obreros al campo. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Las actividades de corte mecanizado y alza arrojaron en ambas zafras las mayores expulsiones de CO<sub>2</sub>eq a la atmósfera.

**Tabla 4**  
**Toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitido para las operaciones de transporte**

Labores agrícolas	tCO <sub>2</sub> eq/L combustible 2014-2015	tCO <sub>2</sub> eq/L combustible 2015-2016
Corte mecanizado	494,86	726,92
Alza	369,92	327,42
Movimiento de tierra	193,80	227,32
Transporte obrero	244,46	280,84
Separación camino	25,5	55,86
Total	1328,54	1618,36

En cuanto a las calderas de biomasa y la generación de electricidad a partir de la quema de bagazo, estas emisiones se consideran neutras. Al respecto [15] refiere que los cultivos cañeros durante el proceso de fotosíntesis absorben la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que se emite en los generadores de vapor u hornos, manteniéndose un equilibrio favorable desde el punto de vista de la contaminación atmosférica.

No obstante, factores como el estado técnico de los generadores de vapor y el contenido de humedad del bagazo provoca que aumenten la emisión de monóxido de carbono (CO) que en combinación con el oxígeno atmosférico genera el CO<sub>2</sub>.

El total de emisiones (tabla 5) estimadas fue 8 126,09 tCO<sub>2</sub>eq, para la zafra 2014-2015, de las cuales el 83,64% corresponde con la quema de caña, 16,35% por el uso de combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte y el 0,01% al empleo de fertilizantes.

Para la zafra 2015-2016, el total calculado fue 5 099,76 tCO<sub>2</sub>eq, de las cuales el 68,24% pertenece a la quema de caña, el 31,74 % por el uso de combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte y el 0,02% a la fertilización.

**Tabla 5**  
**Huella de carbono del central “Argeo Martínez”**

Zafra	Total emisiones tCO <sub>2</sub> eq.	t de azúcar	HC kgCO <sub>2</sub> eq/kg azúcar producido
2014-2015	8 126,09	29 456,41	0,27
2015-2016	5 099,76	19 609,22	0,26

Según estos datos, la HC para la zafra 2014-2015 y 2015-2016 se estimó en 0,27kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar y 0,26kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar respectivamente. Ambos resultados son similares a la reportada por los autores /4/, en el cálculo de la huella de carbono del azúcar de Guatemala para la zafra 2013-2014, valorándose en 0,3gCO<sub>2</sub>eq/g de azúcar producido.

La estimación de la huella de carbono se presenta en la actualidad como una valiosa herramienta, la cual debe ser extendida al resto de los centrales del país. Puede convertirse además en un indicador para comparar con los datos obtenidos en otros ingenios. Es por ello, que los resultados alcanzados servirán de base a la realización de un análisis sectorial, con énfasis en aquellos procesos de mayor contribución de GEI, como es el caso de la práctica de la quema de caña. Se contribuirá en gran medida al desarrollo de estrategias y políticas orientadas a la reducción de estas emisiones.

## Conclusiones

- 1. El total de GEI estimados para los periodos analizados fue 8 126,09 tonCO<sub>2</sub>eq y 5 099,76 tonCO<sub>2</sub>eq.**
- 2. El impacto más importante en las emisiones de dióxido de carbono es la quema de la caña, con 6 796,44 t en la zafra 2014-2015 y 3 480,11t en la del 2014-2015.**
- 3. La huella de carbono para la zafra 2014-2015 y 2015-2016 se calculó en 0,27kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar y 0,26kgCO<sub>2</sub>/kg de azúcar respectivamente.**
- 4. Estos resultados pueden emplearse en la comparación de los impactos de estas emisiones con otras industrias dentro del propio sector azucarero o del país en general y convertirse en un instrumento clave en la toma de decisiones.**

## Bibliografía

1. PONVERT, D. BATISTA, D. Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. Revista Cultivos Tropicales. Versión On-line ISSN 1819-4087, cultrop vol.37 No.3.jul.-set, 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>. Consultado:5/02/17.
2. SULROCA, F.La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba: retos y amenazas en el nuevo siglo. Revista ATAC No.2.indd 33,2011. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidca.xis&method=post...2>. Consultado:5/02/17.
3. ROJAS, J.L. CONCHA, M.A. Diseño de experimento para el cálculo teórico de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por cuatro tipos de preparación del suelo para un cultivo de caña de azúcar. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería Industrial. Universidad ICESI. Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali, Colombia, 2011.

4. HERNÁNDEZ, A. GUERRA, A. La huella de carbono del azúcar de Guatemala. I Congreso Nacional de Cambio Climático. Sesión temática 7. Mitigación en Transporte, Industria, Agricultura y Desechos, 2014. Email: aguerra@icc.org.gt.
5. ALFREDO, C. RINCON, J. Cálculo de la huella de carbono del proceso de cosecha de caña de azúcar. Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniería Industrial. Universidad ICESI. Santiago de Cali. Colombia, 2014.
6. CABRERA, J.A. ZUAZNÁBAR, R. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. Balance del carbono. *Revista Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, N° 1, 2010, p. 5-13.
7. REINOSA, M et col. Inventario de emisiones de dióxido de carbono procedentes de centrales azucareros de la provincia Mayabeque. *Ecosolar*, 57, 2016. 1-7.
8. GAVILÁN, E. Estimación cuantitativa de la huella del carbono en el cultivo de la caña de azúcar en villa clara. *Revista Centro Agrícola*. Vol.44, No.1, enero-marzo, 2017, 71-79. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas .ISSN: 0253-5785.
9. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) “Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI.
10. International Sustainability et Carbon Certification (ISCC 205) .Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI, 2011.
11. MAPAMA. *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*, 2014. Disponible en:  
[www.mapama.gob.es/es/cambio.../temas/.../guia\\_huella\\_carbono\\_tcm7-379901.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio.../temas/.../guia_huella_carbono_tcm7-379901.pdf) Consultado: 10/03/17.
12. ECOINVENT. *Disponible en:*  
[https://www.ecoinvent.org/.../201004\\_report\\_of\\_changes\\_ecoinv](https://www.ecoinvent.org/.../201004_report_of_changes_ecoinv).  
Consultado: 10/03/17.

13. *BIOGRACE. User manual-European Comission, 2011. Disponible en: [https://ec.europa.eu/.../biograce\\_ghg\\_calculations\\_user\\_manual\\_e](https://ec.europa.eu/.../biograce_ghg_calculations_user_manual_e). Consultado: 10/03/17.*
14. CALDERÓN, G. ALFARO, R. Evaluación de nueve fuentes de fertilizantes nitrogenados en la región de Turrialba, Costa Rica, con las variedades de caña de azúcar B77-95. Promedio de Tres Cosechas. VI Congreso Tecnológico del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 2015. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).
15. TRUJILLO, M. Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. Monografía. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Orizaba, Veracruz, México, 2011 Disponible en: [https:// www.ciama-mex.org/biblioteca/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=39](https://www.ciama-mex.org/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=39) Consultado: 10/03/17.