

La Huella de Carbono del Azúcar de Guatemala, Zafra 2013-2014

Por M.Sc. Oscar González y Ph.D. Alex Guerra
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)

Introducción

En la última década ha aumentado la importancia de estimar las emisiones directas o indirectas de gases de efecto invernadero asociadas a la elaboración y transporte de los productos que consumimos. A esto se le denomina huella de carbono y se visualiza como una herramienta para promover la reducción de la emisión de dichos gases. En el presente artículo se presenta brevemente la teoría relacionada a la huella de carbono, resaltando su importancia, y se indica la metodología utilizada para estimar el inventario de gases y la huella de carbono del azúcar de Guatemala. Luego se presentan los resultados del estudio más reciente (zafra 2013-2014), en donde se incluyen las principales fuentes de emisión de gases, el dato sobre cantidad de gases por unidad de peso de azúcar y una comparación con estudios efectuados para la producción de azúcar en otros países, tanto de caña como de remolacha. Finalmente, se hace referencia a la tendencia de disminución de la huella de carbono y se dan a conocer las estimaciones sobre la fijación de carbono y las emisiones evitadas en el sistema de producción de Guatemala, con lo que se tiene una idea sobre el balance.

¿Qué es la huella de carbono y por qué se mide?

Las evaluaciones de los múltiples estudios existentes indican con un 99.9% de certeza que el planeta se está calentando (IPCC, 2013), es decir, el calentamiento global es inequívoco. Lo que constituye un problema no es el calentamiento en sí, si no que los cambios se están dando de forma sumamente acelerada si se compara con las tendencias a lo largo de cientos de miles de años. Dicho fenómeno es resultado de la intensificación del efecto invernadero por efecto por las concentraciones cada vez más altas de los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI), que guardan una relación estrecha con las actividades humanas, en particular desde la revolución industrial (IPCC, 2014). Por tal razón, las negociaciones y acciones internacionales han enfocado su atención en reducir las emisiones de los GEI o en fijar el dióxido de carbono contenido en la atmósfera y así, mitigar el cambio climático.

Entre los conceptos que han surgido para conocer las fuentes de emisión de GEI y enfocar esfuerzos de mitigación, está la huella de carbono. Ésta consiste en



un recuento de las emisiones de GEI que son liberadas directa o indirectamente por las actividades de un individuo, organización, evento o elaboración de un producto, siguiendo procedimientos internacionales aprobados (Bosques PROcarbono UACH, 2015; Carbon Trust, 2014; Myhre et al., 2013). El concepto es considerado una herramienta útil para el desarrollo de estrategias y políticas para la reducción de emisiones de dichos gases (MARN, 2012).

La unidad básica para expresar la huella de carbono y los inventarios de gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). Los distintos gases de efecto invernadero se expresan en función del potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) tomando como base la molécula de CO₂, que tiene el valor más bajo. Por ejemplo, de los dos gases más comunes en liberarse por actividades humanas, una molécula de metano (CH₄) equivale a 28 CO₂eq y una molécula de óxido nitroso (N₂O) equivale a 265 CO₂eq (Myhre et al., 2013). De esta forma, a las emisiones de CO₂ se suman las emisiones de los otros gases convertidos a CO₂eq. El total se divide dentro del peso o volumen del producto generado para obtener la huella de carbono expresada en gramos (g), kilogramos (kg) o toneladas (t) de CO₂eq por litro (l), o bien, por la misma dimensional en peso de producto. Por ejemplo, en el presente artículo se presenta la huella de carbono en kg de CO₂eq/kg de azúcar.

En el caso de Guatemala, se han generado inventarios nacionales como parte de los compromisos adquiridos a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). El más reciente es llamado Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de GEI, Año Base: 2005 (MARN, 2012). Según este documento, las fuentes principales de emisiones son la generación de energía, procesos industriales, la agricultura, el cambio de uso y cobertura de la tierra (especialmente la deforestación), los desechos y la quema de biomasa (uso de leña). El total de emisiones de los principales gases (CO₂, CH₄ y N₂O) expresadas en toneladas de CO₂eq es de 43,013,509 mientras las

absorciones, en su mayoría por los bosques, es de 24,492,060 (MARN, 2012). El desarrollo de estos inventarios para distintos sectores productivos cobra mayor importancia a partir de la publicación y entrada en vigencia de la "Ley Marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (Decreto 7-2013 del Congreso de la República).

La huella de carbono es un dato que cada vez más países, empresas y esquemas de certificación exigen, por lo que estimarla es importante como un elemento de acceso a mercados y competitividad. En el caso del azúcar (y el etanol producido a partir de la caña), la huella es muy pequeña comparada con otros alimentos y combustibles (Rein, 2011), lo cual es una ventaja.

En cuanto al azúcar de Guatemala, se han elaborado varios estudios sobre los gases de efecto invernadero asociados a su producción. Boshell (2010) elaboró el primero y se enfocó en el cultivo de la caña, es decir, abordó solamente una parte de todo el ciclo de vida. Los estudios del Instituto de Cambio Climático (ICC), por otra parte, han estimado el inventario de GEI para todo el ciclo en las zafras 2010-2011, 2012-2013 y 2013-2014. Sin embargo, los resultados no son completamente comparables entre sí puesto que cada año se ha afinado la metodología y la recolección de datos ha sido más completa. Dichos estudios han estimado que las emisiones han estado entre las 588,000 toneladas de CO₂eq y las 894,000 (ICC, 2012; ICC, 2014; ICC, 2015). Si se comparan con las cifras a nivel nacional mencionadas arriba, éstas representarían alrededor del 2%. La huella de carbono como tal, solamente se ha estimado para las dos últimas zafras, dando el mismo resultado, 0.32g de CO₂eq por cada gramo de azúcar. Aparte de las emisiones, se han estimado las fijaciones y las emisiones evitadas por la producción del azúcar. El estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en este sector resulta importante como un estudio de caso porque combina agricultura e industria.

Metodología

Para realizar el inventario de emisiones de GEI de la producción del azúcar durante la zafra 2013-2014, se utilizaron las "Directrices del IPCC¹ de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI". Se tomaron en consideración las siguientes categorías: quema y requema en campos de caña de azúcar, emisiones directas e indirectas por fertilización nitrogenada², uso de combustibles para las diferentes operaciones relacionadas al manejo del cultivo, la energía producida a través de todos los combustibles para consumo interno en las fábricas y una primera estimación sobre las emisiones producidas por las aguas residuales industriales. Las fuentes de emisiones tomadas en cuenta y también las fuentes de fijación de carbono y de emisiones evitadas, se presentan en la siguiente figura 1.

Los gases reportados en este inventario incluyen el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso como gases de efecto invernadero directos. Tanto las emisiones de metano como las de óxido nitroso se multiplicaron por los valores de potencial de calentamiento global que aparecen en el Quinto Informe del IPCC para manejar una misma unidad (t CO₂ eq) (IPCC, 2013).

Esta aproximación no consideró ninguna cantidad de CO₂ emitida por combustión de biomasa ni en campo ni en las calderas de la fábrica puesto que la caña de azúcar es un cultivo de crecimiento anual que fija carbono. Este es el caso para cualquier cultivo en que se queme biomasa (Myhre et al., 2013).

Se asumió que las emisiones evitadas correspondieron a las emisiones que hubieran sido generadas si en lugar de utilizar el bagazo de caña de azúcar, se hubiera utilizado algún combustible fósil (búnker o carbón mineral) para la generación de energía para consumo

interno de los ingenios azucareros y para la venta al sistema nacional interconectado. Asimismo, se estimaron como emisiones evitadas las que no se generaron al realizar la cosecha en verde (manual y mecanizada)³.

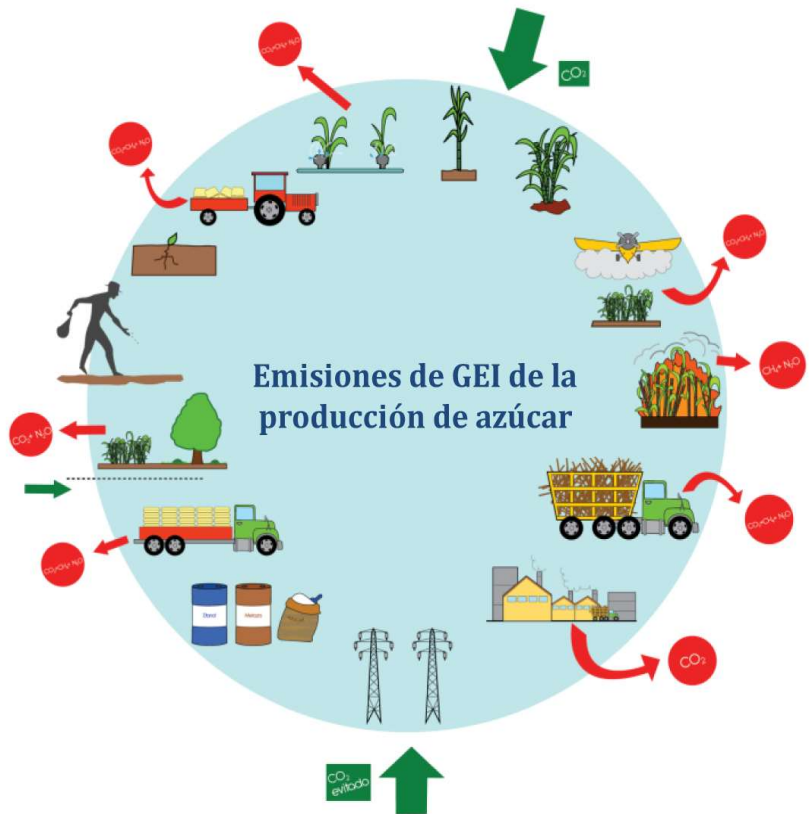


Figura 1. Ciclo de vida de la producción de azúcar utilizado para la estimación del inventario de gases de efecto invernadero (GEI).

Resultados y discusión

Para el período 2013-2014, las estimaciones totales de la AIA fueron de 894,094 tCO₂eq (ver cuadro 1). Como se observa en la figura 2, el 49% corresponde a las emisiones producidas por el uso de combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte, 28% al uso de fertilizantes nitrogenados, el 10% por cambio de uso y cobertura de la tierra y 12% a las quemaduras de biomasa de caña en el campo. Las emisiones correspondientes a los combustibles para la producción de energía para las fábricas fueron del 1%.

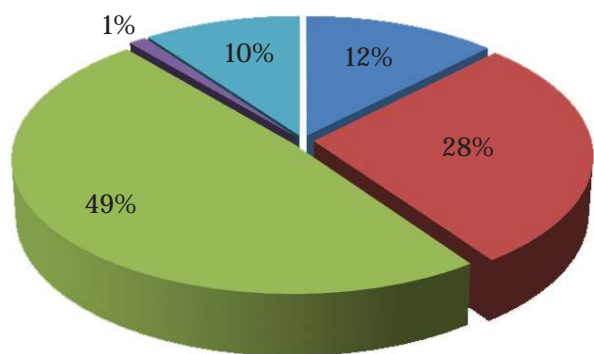
¹ Panel Intergubernamental de Cambio Climático - IPCC (por sus siglas en inglés).

² Dentro de esta actividad se estimaron las emisiones directas por fertilización e indirectas por volatilización y lixiviación, así como por la utilización de urea.

³ Para esta actividad se estimaron las emisiones generadas por el uso de combustible fósil de la maquinaria que se utiliza para la cosecha, dentro del uso de combustibles para las diferentes operaciones del cultivo y transporte.

Cuadro 1. Total de emisiones de GEI estimadas por actividad, zafra 2013-2014.

No.	Fuentes de emisión	Emisiones (tCO ₂ eq)
1	Quemas de biomasa de caña en campo	110,609.74
2	Utilización de fertilizantes nitrogenados	248,670.03
3	Combustibles para actividades agrícolas y transporte (combustión móvil)	434,907.76
4	Generación de electricidad para consumo interno	10,124.59
5	Cambio de uso y cobertura de la tierra (forestal a caña de azúcar)	89,782.00
	Total	894,094.11



- Quemas de biomasa de caña en campo
- Utilización de fertilizantes nitrogenados
- Combustible para actividades agrícolas y de transporte
- Generación de electricidad para consumo interno
- Cambio de uso y cobertura de la tierra

Figura 2. Porcentaje de emisiones de CO₂eq por actividad evaluada en la producción del azúcar de la AIA durante la zafra 2013-2014.

Las emisiones evitadas se estimaron entre 649,220 y 795,011 tCO₂eq, que resultarían de la combustión de búnker o carbón mineral, respectivamente, para la generación de energía eléctrica utilizada para la producción de azúcar y la que se vende al sistema nacional interconectado, si no se utilizara el bagazo de la caña, que es un combustible renovable. Además, se estimó que al no quemar la caña de azúcar y realizar la cosecha en verde (sin quemar), se evita la emisión de 20,550 tCO₂ eq.

Según estos datos y tomando la producción total de azúcar de la zafra (según datos de ASAZGUA), la huella de carbono del azúcar de Guatemala para la zafra 2013-2014 se estimó en 0.32 gCO₂eq/g de azúcar producido (figura 3).

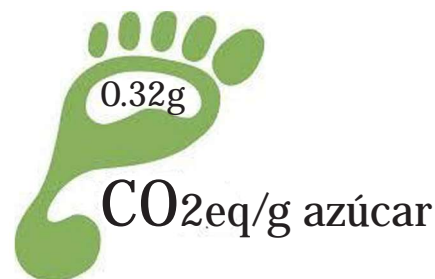


Figura 3. Huella de carbono del azúcar de Guatemala, zafra 2013-2014.

¿Cómo se compara la huella de carbono del azúcar de Guatemala con la huella del azúcar de otros países?

Como se aprecia en el cuadro 2, el azúcar de Guatemala se encuentra entre las que tienen una huella de carbono baja en relación a otras. Sin embargo, la comparación entre los distintos tipos de azúcar contenidos en la tabla no debe hacerse de forma directa. En primer lugar, probablemente haya variaciones a causa de utilizar distintas metodologías para las estimaciones. En segundo lugar, la delimitación del sistema produce diferencias importantes, particularmente si se incluye el transporte hasta el lugar de venta al consumidor final. Esta es la razón por la cual el azúcar de caña que se pueda

encontrar en la Unión Europea (tercera fila del cuadro) tiene una huella dos veces mayor que el azúcar de caña en los países productores. En dicho caso no solo se incluyen las emisiones relacionadas al transporte del azúcar crudo sino también el proceso de refinación.

Una diferencia importante entre la huella de carbono del azúcar de caña y el azúcar de remolacha es que, en el caso de la primera, es común que la fábrica opere con electricidad generada a partir del bagazo de la misma caña. La remolacha, en cambio, no cuenta con biomasa que se pueda utilizar de esa forma y, entonces, si la electricidad que utilizan es generada a partir de combustibles fósiles, la huella de carbono es mucho más grande. En el caso del azúcar de remolacha británica, las emisiones en fábrica por uso de combustibles fósiles son responsables del 57% de la huella de carbono (Carbon Trust, 2008, en British Sugar, 2010).

Cuadro 2. Huella de carbono del azúcar en distintos países y regiones.

kgCO ₂ eq/ kg azúcar	Tipo	País/región	Fuente
1.16	Remolacha	Estados Unidos	Taylor & Koo, 2010
0.64-0.76	Caña, refino	Unión Europea	CEFS, 2012
0.24-0.77	Remolacha	Unión Europea	CEFS, 2012
0.60	Remolacha	Reino Unido	Carbon Trust, 2008, en British Sugar, 2010.
0.57	Caña	Estados Unidos	Taylor & Koo, 2010
0.55	Caña	Tailandia oriental	Yuttitham et al, 2011
0.32	Caña	Guatemala	ICC, 2014
0.24	Caña	Sur de Brasil	de Figueiredo et al, 2010

En el caso de Guatemala, toda la electricidad utilizada en las fábricas (ingenios) es generada utilizando el bagazo y, además, se produce un excedente que se vende al Sistema Nacional Interconectado. Este excedente conforma alrededor del 70% de la electricidad generada.

Tendencia de la huella de carbono en Guatemala

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que el ICC ha realizado tres estudios para estimar el inventario de gases de efecto invernadero, los resultados no son completamente comparables entre sí puesto que cada año se ha afinado la metodología y la recolección de datos ha sido más completa. Durante la elaboración de dichos estudios se han identificado varios factores que han influido en que la huella de carbono del presente sea menor que la huella en el pasado, a saber: 1) el aumento en eficiencia de utilización de fertilizantes nitrogenados, 2) el aumento de la cosecha en verde implementada por varios ingenios, 3) la utilización de la mayoría de las aguas residuales para riego de las áreas cultivadas en lugar de descargarlas a los cuerpos de agua, 4) la reubicación de dos fábricas para acortar las distancias de transporte de caña, 5) la construcción de una red de caminos dentro de las fincas cañeras que ha reducido considerablemente las distancias de transporte de caña hacia las fábricas por ser rutas más directas que las carreteras nacionales, y 6) la utilización del bagazo para generar electricidad, lo cual inició a ponerse en práctica desde la década de los 90s. Aún no se ha estimado en qué proporción ha bajado la huella de carbono por dichos factores pero son temas que figuran en la lista de investigaciones a realizar en un futuro cercano.

Fijación y almacenamiento de carbono, emisiones evitadas y el balance del carbono

Hasta ahora se han presentado datos solamente sobre las emisiones de GEI asociados a la producción de azúcar. Sin embargo, como en cualquier sistema, existen



también factores positivos como la fijación de carbono y procesos con los cuales se evitan emisiones adicionales. En primer lugar, es importante notar que la caña de azúcar es una planta sumamente eficiente en la fijación del carbono, en parte por tener un mecanismo de fotosíntesis C4. La caña se cosecha una vez al año en Guatemala, por lo que el promedio de 102.7 toneladas de caña por hectárea (CENGICAÑA, 2014) crece (y se fija) en ese periodo de tiempo. De esa cantidad, aproximadamente la mitad es agua, una fracción constituye la biomasa que se quema o que queda en el campo, otra parte se convierte en los desechos o residuos del proceso industrial (bagazo, cachaza, melaza, vinaza) y otra fracción la componen los productos finales como el etanol y el azúcar. De este último, el promedio para Guatemala es de 10.3 toneladas por hectárea (CENGICAÑA, 2014), que contiene gran parte del carbono fijado por la caña. Aunque prácticamente todos estos materiales contienen carbono que regresa a la atmósfera, el crecimiento de la caña hace que el ciclo sea cerrado y las emisiones netas sean neutras, lo cual es reconocido científicamente (IPCC, 2013).

Cuadro 3. Fijación y almacenamiento de carbono y emisiones evitadas anualmente

No.	Fuentes de fijación, almacenamiento o emisiones evitadas	tCO ₂ eq
1	Carbono contenido en bosques naturales del sector azucarero*	1,415,591
2	Cambio de cobertura de la tierra (caña a forestal) – dato anual	24,938
3	Plantaciones forestales del sector azucarero – dato anual	132,635
4	Generación de electricidad a partir de bagazo**	649,220 a 795,011
5	Cosecha de la caña en verde – dato anual	20,550
6	Carbono almacenado (temporalmente) en el azúcar	4,313,612

* No es cifra anual sino total, con datos de áreas de bosque natural reportadas a noviembre de 2012.

** Emisiones evitadas al no utilizar búnker o carbón mineral para general la misma electricidad.

Cuadro 4. Balance de emisiones de tCO₂eq por año

Total de emisiones estimadas	894,094
Total de fijaciones o emisiones evitadas, directamente relacionadas a la producción de azúcar	4,068,806
Balance (a favor)	3,174,712

Para la suma de las fijaciones y emisiones evitadas del Cuadro 4 se hicieron las siguientes consideraciones: 1) Sólo se consideraron aquellas actividades directamente relacionadas a la producción de azúcar, por lo que no se tomó en cuenta el carbono contenido en los bosques naturales ni en las plantaciones forestales que son propiedad de los ingenios; 2) En las emisiones evitadas por generación de electricidad con bagazo de caña, se tomó el dato mayor puesto que corresponden al carbón mineral y éste es el combustible fósil más utilizado en la época del estudio; 3) Se tomó en cuenta el 74.84% del carbono contenido en el azúcar por ser el porcentaje de las exportaciones (datos de ASAZGUA, 2014) y las que se toman en cuenta, de acuerdo a Nayamuth & Cheeroo-Nayamuth (2005).

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados aquí mostrados indican que la producción de azúcar en Guatemala es responsable de alrededor del 2% de las emisiones del país. La huella de carbono (0.32gCO₂eq/g de azúcar) es baja comparada con el azúcar de otros países y, en general, mucho más baja que la huella del azúcar elaborada a partir de remolacha. La razón principal por la que la huella es baja es la generación de electricidad a partir del bagazo de la misma caña, que es una fuente renovable. Esto representa un ejemplo de buenas prácticas ambientales también puesto que se utilizó un desecho que de otra manera sería contaminante.

Las estimaciones presentadas sobre fijación y almacenamiento de carbono y emisiones evitadas de otros gases indican que el proceso de producción del

azúcar tiene efectos positivos, los cuales son significativos. Sin embargo, el cálculo del balance está sujeto a las reglas de los mercados de carbono y también dependen del contexto en que se analicen (nivel de empresa, país o a nivel global). Podría haber argumentos para incluir o no los rubros que fueron incluidos en el presente artículo, posiblemente siendo uno de los más discutidos la inclusión del carbono contenido en el azúcar.

Existen varias oportunidades para aumentar la precisión de las estimaciones de estudios como éste. Entre ellas está la estimación de factores de emisión de los fertilizantes nitrogenados según las condiciones de Guatemala y la determinación de las emisiones (y fijaciones) del cambio de uso y cobertura de la tierra de forma anual. No obstante, los estudios han ayudado a identificar las fuentes y factores principales en la temática y pueden ser el punto de partida para promover acciones que contribuyan a la reducción de emisiones en éste y otros sectores productivos, a la vez que favorecen a disminuir costos por aumento en la eficiencia en la utilización de insumos o por el aprovechamiento de residuos.

Literatura citada

- ASAZGUA, 2014. Detalle de Producción por tipo y calidad al 8 de junio 2014. Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), Ciudad de Guatemala.
- Boshell, F., 2010. Inventario de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala, zafra 2006-2007. Simposio XV "Análisis de la zafra 2009-2010, Campo y Transporte", CENGICAÑA.
- Bosques PROcarbono UACH. 2015. Huella de Carbono. Consultado en: http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html, en febrero de 2015.
- British Sugar, 2010. Corporate Sustainability Report 2009/10. British Sugar UK & Ireland.
- Carbon Trust. 2014. Carbon footprinting guide. Tools, guides & reports. Consultado en: <http://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting>, en junio de 2014.
- CEFS, 2012. The Product Carbon Footprint of EU Beet Sugar. Klenk, I., B. Landquist and O. Ruiz de Imaña. Sugar Industry Journal, Issue 137 (62) March-April 2012.
- CENGICAÑA. 2014. XIX Simposio Análisis de la Zafra 2013/2014. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Agosto de 2014.
- de Figueiredo, A., R. Panosso, R. Romão and N. La Scala Jr, 2010. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. Carbon Balance and Management Journal, 5:3.
- ICC, 2015. Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la producción de azúcar en Guatemala. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), elaborado por O. González y A. Guerra. Santa Lucía Cotzumalguapa. 22 p.
- ICC, 2014. Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la producción de azúcar en Guatemala, Zafra 2012-2013. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), elaborado por A. Hernández. Santa Lucía Cotzumalguapa. 21 p.
- ICC, 2012. Inventario de emisiones y fijaciones de Gases de Efecto Invernadero de la producción de azúcar en Guatemala, Zafra 2010-2011. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), elaborado por A. Hernández. Santa Lucía Cotzumalguapa. 19 p.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- MARN, 2012. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero Año Base: 2005. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. MARN-PNUD-GEF Guatemala. 35 p.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nayamuth, A.R.H. and B.F. Cheeroo-Nayamuth, 2005. Contribution of sugar cane industry in alleviating greenhouse gas emissions. Proc. ISSCT, 25: 57-63.
- Rein, P. 2011. Sustainable Production of Raw and Refined Sugar. SIT Conference, Montreal.
- Taylor, R. & W. Koo, 2010. Impacts of Greenhouse Gas Emission Regulations on the U.S. Sugar Industry. Center for Agricultural Policy and Trade Studies, North Dakota University, Fargo. 14p.
- Yuttitham, M., Shabbir H. Gheewala and A. Chidthaisong, 2011. Carbon footprint of sugar produced from sugarcane in eastern Thailand. Journal of Cleaner Production 19: 2119-2127.