

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**"FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 14046:2014 EN EL ANÁLISIS DE LA
HUELLA DE AGUA EN LOS PROCESOS DE COGENERACIÓN EN GUATEMALA"**

TESIS DE GRADO

EDUARDO ISAAC SANABRIA TOBAR
CARNET 10767-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**"FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 14046:2014 EN EL ANÁLISIS DE LA
HUELLA DE AGUA EN LOS PROCESOS DE COGENERACIÓN EN GUATEMALA"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
EDUARDO ISAAC SANABRIA TOBAR

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA
VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO
SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN
DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. EDGAR EDUARDO SACAYÓN MADRIGAL

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS
ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS
LIC. RICARDO ANTONIO MONTOYA SEGURA

Guatemala, 8 de octubre de 2018

Magister
Marya Alejandra Ortiz Patzán
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería.


Estimada Mgtr. Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **"FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 14046:2014 EN EL ANÁLISIS DE LA HUELLA DE AGUA EN LOS PROCESOS DE COGENERACIÓN EN GUATEMALA"**. Del estudiante *Eduardo Isaac Sanabria Tobar* quien se identifica con número de carné *1076712*, de la carrera de Ingeniería Química. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atte.


MSc. Edgar Eduardo Sacayón Madrigal.
Asesor de Tesis

incyt
Instituto de investigación y proyección
sobre ciencia y tecnología

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante EDUARDO ISAAC SANABRIA TOBAR, Carnet 10767-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02254-2018 de fecha 3 de octubre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 14046:2014 EN EL ANÁLISIS DE LA HUELLA DE AGUA EN LOS PROCESOS DE COGENERACIÓN EN GUATEMALA"

Previo a conferírsele el título de INGENIERO QUÍMICO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de octubre del año 2018.



**MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar**

AGRADECIMIENTOS

DIOS Y A LA VIRGEN MARÍA

Por haber sido mi guía y mi fortaleza, durante los años de mi formación académica y estar siempre acompañándome desde el silencio, aunque yo no me diera cuenta. Además, por cada una de las bendiciones recibidas durante toda mi vida.

MI MAMÁ (ISABEL SANABRIA)

Por todo el esfuerzo y por siempre haberme acompañado durante este camino, desde el día que nací hasta el día de hoy, en el que finalmente llego a conquistar esta meta. Que como mujer y madre soltera hoy soy una persona de éxito, un hombre de bien y al final por ella puedo decir: **soy Ingeniero Químico.**

MI ABUELA (MAMÁ CHANDA) †

Por haberme acompañado desde pequeño y haber sido parte importante de mi formación en valores, que a pesar de que desde el cielo me acompaña, le agradezco todo el amor que me dio y porque estoy consciente que intercede ante Dios cuando siento que no puedo más.

PADRE IDELFONSO GULLÓN †

Por haber sido parte importante en mi formación en el colegio y que por hoy el hombre de bien que soy hoy en día.

A MIS ASESORES

Por su apoyo para la investigación de mi tesis y asesoría brindada: a Edgar Sacayón, Claudia García y a Zuly Toledo

A MI FAMILIA

Por haberme acompañado y siempre haber estado al pendiente de mi persona, a mis tíos Rolando Tobar y Angela Barrientos (†), a mis primos Estuardo (†), Gianni, Mayra, Marielos y Marycruz.

A MIS MEJORES AMIGOS DE LA U

Por todas las personas que me acompañaron durante mi carrera y estuvieron pendientes siempre de mí, y me brindaron su amistad sincera, siendo mi apoyo durante este camino. En especial a Francisco Corona (Paco), Lucía Martínez (Lucy) y Stephanie Rivas (Tefy). Además de todas las personas que de otra manera tal vez no menciono, pero saben que siempre estuvieron conmigo y quiero demasiado.

A MIS MEJORES AMIGAS

A Paola López y Cristina López, por siempre aconsejarme y siempre darme alientos para seguir adelante, y tener siempre Jesús en el centro de nuestra amistad.

A Michelle Tercero por ser la mejor amistad que me dejó mi tesis, por habernos conocido durante este camino, y que de otra forma siempre me motivó para que nunca desmayara.

A Alejandra Ruiz, por ser la mejor amistad que me dejó este camino de la U, por haber estado juntos desde el primer día de U, y porque tengo la certeza que nuestra amistad será para toda la vida

A MIS MEJORES AMIGOS DEL COLEGIO

A mis amistades que aun mantengo desde el colegio, mi promoción 10, por estar ahí y por siempre estar pendiente de mis logros.

A MIS AMIGOS Y SERES QUERIDOS.

A todas las personas que no mencione, pero que de una u otra manera siempre me apoyaron.

A MI UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

Por ser mi ser mi de estudios durante estos 5 años, y por darme esa formación integral por cada uno de los espacios para potenciar mi liderazgo y preparación académica.

A INGENIO MAGDALENA

Por el apoyo para el desarrollo de la presente investigación. En especial a mis jefas que me ayudaron y también fueron parte de mi formación como profesional a Ing. Paola Rivera e Ing. Marcela Carcamo.

DEDICADO A

ISABEL SANABRIA

Ella siempre ha sido mi pilar más importante en la vida, porque me ha guiado por el buen camino desde pequeño. Enseñándome a luchar día con día. Con ese valor y pasión que siempre le han caracterizado como mujer sin importar los obstáculos que se le han presentado en la vida. Ya que siempre me ha alentado a seguir adelante y nunca desmayar a pesar de las adversidades.

Porque como madre soltera, me pudiste sacar adelante y darme esta mejor herencia que es mi formación integral como persona. Resultando este triunfo ser de los dos.

En verdad, le agradezco a Dios y a la Virgen que me dieron en mi vida una madre tan especial como tú, te quiero mucho y gracias por todo.

“No me resigno a que, cuando yo muera, siga el mundo como si yo no hubiera vivido”

Padre Pedro Arrupe, S.J.

RESUMEN EJECUTIVO.

El presente trabajo de investigación presenta a la huella de agua, basado en la norma ISO 14046:2014, como una propuesta y guía para la cuantificación de los impactos ambientales asociados a los recursos hídricos por actividades de producción. Por ello se determinó la factibilidad de la evaluación de la Norma a los sistemas de cogeneración en Guatemala. Por lo que en ella se presenta todas las dificultades técnicas y aspectos a considerar para la evaluación de la huella de agua basado en el análisis de ciclo de vida que considera desde las materias primas hasta la salida del producto final que fundamenta la Norma en mención.

Se presenta una evaluación de análisis de ciclo de vida ejecutada en el software OPEN LCA® con un modelo de un sistema de cogeneración brasileño, el cual es un proceso documentado, que cuenta con su base de datos en Ecoinvent 3.4. La base de datos del modelo en mención, es tomado como base del estudio para los sistemas de cogeneración en Guatemala. En lo evaluado, se identificó que la etapa que mayor uso, consumo y demanda de agua causa para la producción de 1 kWh de energía eléctrica se lleva a cabo de forma indirecta en el cultivo de caña de azúcar. El impacto ambiental se distribuye de la siguiente manera: 63.7% al uso de cal, 13.09% al uso de agua de pozo empleado para riego y 3.68% al uso de nitrógeno como agregado para fertilizantes.

El trabajo de graduación basado en el análisis de la huella de agua por la metodología propuesta por la Norma ISO 14046:2014, concluye que puede ser aplicado a los sistemas de cogeneración en Guatemala, y que el mismo debe ser replicado a otras cadenas de suministro para una evaluación integral del impacto ambiental asociado a los recursos hídricos. A pesar de que se adaptó un proceso que proviene de un modelo de cogeneración de Brasil existente en Ecoinvent 3.4; los resultados pueden ser considerados como una línea base hasta que datos provenientes de este sector energético de la industria agro-azucarera, y proveedores de la cadena de suministro de estos sistemas, proporcionen suficiente información para el desarrollo de un inventario nacional de ciclo de vida para la obtención de resultados.

PALABRAS CLAVE: Huella de Agua, Norma ISO 14046:2014, Análisis de ciclo de vida (ACV), Cogeneración, Estrés hídrico, Cadena de suministro, Impacto ambiental, Recursos hídricos.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1 Lo escrito sobre el tema.....	3
2. Marco teórico.....	6
2.1 Norma ISO 14046:2014 Huella de Agua.	6
2.1.1 Definición del alcance y objetivos.....	8
2.1.2 Análisis del inventario.....	9
2.1.3 Evaluación de impactos.....	9
2.1.4 Interpretación de resultados.....	10
2.2 Cogeneración en Guatemala.....	10
2.2.1 Historia.....	10
2.2.2 Ubicación geográfica.....	11
2.2.3 Importancia de la cogeneración en la Matriz Energética.....	13
2.3 Cadena de suministro de la cogeneración.....	13
2.3.1 Cultivo de caña de azúcar.....	14
2.3.2 Recepción y preparación de la caña de azúcar.....	16
2.3.3 Molienda de la caña de azúcar.....	16
2.3.4 Proceso de cogeneración.....	17
3. Planteamiento del problema.....	21
3.1 Objetivos.....	21
3.1.1 Objetivo general.....	21
3.1.2 Objetivos específicos.....	22
3.2 Alcances y límites.....	22
3.2.1 Alcances.....	22
3.2.2. Límites.....	22
3.3. Aportes.....	23
4. Metodología.....	24
4.1. Determinación de la información necesaria para los inventarios hídricos.....	24
4.2 Evaluar la aplicabilidad de la Norma ISO 14046:2014 a los sistemas de cogeneración en Guatemala.....	24
4.3 Identificación de la etapa del sistema de cogeneración con mayor potencial de producir estrés hídrico.....	25
5. Resultados y discusión.....	27

5.1 Determinación de la información necesaria para adaptación de parámetros del inventario hídrico.....	27
5.2 Aplicabilidad de la Norma ISO 14046 a los procesos de cogeneración con bagazo de caña de azúcar en Guatemala.....	31
5.3 Identificación de la etapa con potencial de generar mayor estrés hídrico	34
5.4. Propuestas para la aplicación de Norma ISO 14046: 2014 a los sistemas de cogeneración en Guatemala.....	38
6.Conclusiones.....	41
7. Recomendaciones	42
8. Referencias bibliográficas	43
9.Anexos	46
A. Anexo 1. Entrevistas	46
B. Anexo 2: Glosario	49
C. Anexo 3. Inventarios para el análisis de ciclo de vida documentados en Ecoinvent 3.4.	51
D. Anexo 4. Cálculos para el desarrollo del inventario.....	57
E. Anexo 5. Fotografías visita a sistemas de cogeneración en Guatemala.....	60
F. Anexo 6. Gráfico de barras presentado en el software de OPEN LCA®.	70
G. Anexo 7. Diagrama de modelo de producción de energía eléctrica de Brasil presentado en el software de OPEN LCA®.	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Relación de las fases de la evaluación de la huella de agua	8
Gráfico 2. Ubicación geográfica de los ingenios azucareros en Guatemala	12
Gráfica 3. Diagrama de flujo de un sistema de cogeneración	14
Gráfica 4. Proceso de cogeneración	20
Gráfico 5. Modelo de producción de energía eléctrica en Brasil.	28
Gráfica 6. Análisis de huella de agua por etapas para la producción de energía eléctrica...	35
Gráfica 7. Mapa de zona climáticas de BONSCUCRO.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tipos de huella de agua.....	3
Tabla 2. Diferencias entre la huella de agua (ISO,2014) y Huella Hídrica (Hoekstra,2002). 6	6
Tabla 3. Descripción de técnicas de riego en Guatemala	15

1. Introducción

La demanda de uso del agua para aplicaciones agro-industriales se incrementa constantemente en Guatemala. Adicionalmente, la contaminación del agua causa impactos muy graves en los seres humanos y en el medio ambiente. Para gestionar apropiadamente los recursos hídricos es imprescindible cuantificar, tanto los usos como los impactos por contaminación.

En los sistemas de producción de energía eléctrica de la industria agro-azucarera se han realizado esfuerzos para la reducción de impactos y también se han tomado acciones dentro de planes de gestión ambiental. Por lo que es necesario, tanto para los sectores público y privado, la búsqueda de métricas que evalúen los riesgos del agua y sus impactos.

La Norma ISO 14046 sobre huella de agua responde a esta necesidad, al proveer un marco para la medición de los impactos asociados al agua a lo largo del ciclo de vida.

Para el desarrollo del presente estudio fue indispensable conocer a profundidad la Norma ISO 14046 y cumplir con el objetivo de evaluar la aplicación de esta a los sistemas de cogeneración. Por lo que se trabajó con la versión traducida de la norma publicada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). Se tuvo de referencia la norma INTE/ISO 14046:2015.

Además, para el desarrollo del presente trabajo de investigación se usó del software OPEN LCA® Nexus, el cual es un programa de código abierto. La elección de esta herramienta se debe a que facilita el desarrollo de un análisis de ciclo de vida (ACV) con el producto final (en este caso, energía eléctrica), por lo que se pueden construir cadenas de suministro completas, empleando bases de datos ya existentes, modificándolas con información a la cual se pueda tener acceso para la construcción de un inventario de ciclo de vida.

Este es un estudio independiente sobre la huella de agua que se genera para la producción de energía eléctrica en los sistemas de cogeneración en Guatemala de la industria agro-azucarera apoyado con una base de datos llamada Ecoinvent, se

tomó como referencia un modelo de cogeneración brasileño. Se debe mencionar que Ecoinvent es una base de datos de procesos inventariados que proporciona de forma adicional información detallada para la evaluación de impactos ambientales. Además, el estudio realizado se apoyó en los fundamentos presentados en el marco metodológico de la Norma ISO 14046:2014, el cual muestra el desarrollo de las últimas tendencias para el análisis de huella de agua que propone la comunidad internacional para el cumplimiento de los requisitos de la Norma en mención.

1.1 Lo escrito sobre el tema

El desarrollo del concepto de *huella de agua* surgió en el año de 1998 por John Anthony Allan, bajo el término de “agua virtual”. Según Allan, el agua virtual es la cantidad de agua empleada en la cadena de suministro de un producto. Por lo tanto, incluye el agua manejada en los procesos primarios, como también en los procesos secundarios que incluyen materiales y energía (Berger & Finkbeiner, 2010).

El concepto de agua virtual fue retomado por el autor Arjen Hoekstra en el año 2002. Hoekstra definió la *Huella Hídrica* como un indicador del consumo y contaminación de agua dulce que se utiliza para la fabricación de un producto, incluyendo las dimensiones geográficas y temporales, así como las fuentes directas e indirectas del recurso hídrico. Además, utilizó los conceptos de huella hídrica azul, verde y gris, para cuantificar los diferentes tipos de agua utilizados en un sistema de un proceso o servicio para su desarrollo. La metodología propuesta por Hoekstra, fue publicada por Water Footprint Network (WFN, 2002). En este manual, la huella hídrica se define como un indicador que relaciona la disponibilidad del agua con el consumo de una población y cuantifica los diversos tipos de agua en una métrica final (WFN, 2002). Los tipos de huella hídrica y sus definiciones se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tipos de huella de agua

Tipo de Huella	Definición
Huella hídrica azul	Aguas superficiales y subterráneas, hace énfasis en el consumo de agua dulce en toda la cadena de producción de un producto.
Huella hídrica verde	Consumo de agua de lluvia, agua procedente de precipitaciones, en la zona superior del suelo y permite la existencia de mayor vegetación, la cual se incorpora en productos agrícolas.
Huella hídrica gris	Agua contaminada por uso y consumo. Representa el volumen de agua que se necesita para diluir los contaminantes hasta los niveles fijados por los estándares de calidad de agua.

Fuente: Elaboración propia basado en el Manual para la evaluación de huella hídrica por Water footprint Network,(WFN 2002)

Pfister, Stephan & Hellweg, Stefanie (2009) recomendaron una actualización en la metodología propuesta por Hoekstra, con el fin de adaptar los métodos de este último a las necesidades percibidas desde la perspectiva de ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida (ACV) permite una recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producción a través de su ciclo de vida (ISO, 2016). En un ACV se considera todas las etapas de extracción y/o fabricación de las materias primas, industria procesadora, distribución, uso/consumo y fin de vida tomando en cuenta los usos directos e indirectos de agua.

Pfister, Koehler, & Hellweg (2009), propusieron una evaluación integral del impacto del consumo de agua considerando la disponibilidad en una región la cuenca hidrográfica se usó como unidad básica. Para esto, se desarrolló el concepto de estrés hídrico, fenómeno que sucede cuando la demanda de agua es mayor a la disponible en el área.

A manera de ejemplo, se puede mencionar que el consumo de un litro de agua no tendrá el mismo impacto en una región desértica que en una región húmeda, donde existe mayor disponibilidad del recurso hídrico (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología [INCYT], 2016). Pfister et al. (2009) también definen una diferencia entre el uso y consumo de agua. En el *uso* sí existe un retorno del agua empleada en el proceso hacia las fuentes originales del recurso hídrico; mientras que en el *consumo* de agua se pierde por evaporación o incorporación al producto.

Kounina, A., Margni, M., Bayart, J., Boulay, A., Berger, M., Bulle, C., Bulle, C., Frischknecht, R., Milà I Canals L., Motoshita, M., Núñez, A., Peters, G., Pfister, S., Ridoutt, B., Zelm, R., Verones, F. & Humbert, S. (2012) desarrollaron la revisión de métodos e indicadores de impacto por el uso y consumo de agua dulce dentro del análisis de ciclo de vida. Estos autores sugieren una armonización entre las rutas causa-efecto y los indicadores de punto intermedio y punto final en las tres áreas de protección ambiental, las cuales son: salud humana, ecosistemas y recursos naturales.

Los indicadores de impacto de punto intermedio cuantifican la cantidad de agua que retienen otros usuarios como consecuencia del uso de agua. Además, se puede mencionar que estos indicadores desarrollan de forma cuantitativa e interna, el impacto generado dentro del proceso de fabricación de un producto o servicio. Estos indicadores de punto intermedio pueden proporcionar un indicador en común que considera las tres áreas de protección ambiental previamente descritas.

Los métodos de evaluación abarcan las 3 áreas de protección ambiental en mención, el resultado que se observa es un perfil de indicadores que abarcan: la escasez ecológica propuesta por el autor Pfister (Kounina et al. 2012), el índice de impacto del agua por Boulay, A. M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschênes, L., & Margni, M. (2011) y los índices de impacto de la huella hídrica propuestos por Hoekstra, A. Y., & Hung, P.Q. (2011). En general los indicadores de punto medio describen el impacto que conduce a una disminución en la disponibilidad de agua dulce para los usuarios, así como cambios en la disponibilidad de agua dulce para los ecosistemas y los cambios en la disponibilidad de agua subterránea.

Por otro lado, los indicadores de punto final cuantifican el impacto que se genera posterior al uso o consumo de agua, al final de la cadena causa-efecto, evaluando una característica específica de las áreas de protección ambiental de salud humana, ecosistemas y recursos naturales (Flury, Frischknecht, Jungbluth, & Muñoz, 2013). Respecto a la cuantificación de indicadores de punto final, se han desarrollado diversos métodos, entre los que cabe resaltar: el indicador de falta de agua dulce para la higiene y la ingestión, que cuantifican enfermedades transmisibles; además de la privación de agua para la acuicultura de agua dulce y la pesca. Para el impacto indirecto del uso de agua dulce los indicadores de punto final se evalúan con base en los impactos ambientales comúnmente reportados en un país o a nivel de la cuenca que se está evaluando (Kounina et al., 2012).

A causa de las diferencias metodológicas, la comunidad internacional ha adoptado la Norma ISO 14046 (ISO, 2014) para la estandarización del método de Huella de Agua. Es importante mencionar que para América Latina se ha convenido usar los términos de “huella de agua” para referirse a la metodología propuesta según la

perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV) mientras que *huella hídrica* se refiere a la metodología desarrollada por Hoekstra (COSUDE-CADIS, 2016).

2. Marco Teórico

2.1 Norma ISO 14046:2014 Huella de Agua.

La huella de agua según ISO 14046, (ISO, 2014) se define como: métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad y degradación. La evaluación de la huella de agua según la norma ISO 14046 considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la adquisición de las materias primas hasta el fin de vida de un producto o servicio. La Norma ISO también explica el carácter modular de la huella de agua. Esto quiere decir que se puede cuantificar la huella de agua que se genera en cada una de las etapas del ciclo de vida en forma independiente, o bien sumarse para representar la huella de agua total del proceso o servicio evaluado (Embajada de Suiza en Colombia, Agencia Suiza para la Cooperación y el desarrollo [COSUDE-CADIS], 2016). Las diferencias entre los conceptos de huella hídrica propuesta por Hoekstra y el concepto de huella de agua propuesto por la Organización Internacional de Normalización (ISO), se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Diferencias entre la huella de agua según ISO y huella hídrica por Hoekstra

Huella de agua (ISO)	Huella hídrica (Hoekstra).
1. Cuantifica indicadores de impacto en la disponibilidad y en la calidad de los recursos hídricos.	1. Indicador enfocado en el volumen de agua dulce que se empleó para producir bienes y servicios.
2. Utiliza indicadores de impacto de punto intermedio y punto final de una cadena causa-efecto.	2. Emplea un indicador de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga contaminante (Huella gris).
3. Uso de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV).	3. Define los volúmenes de agua en base al Water Footprint Network (WFN).

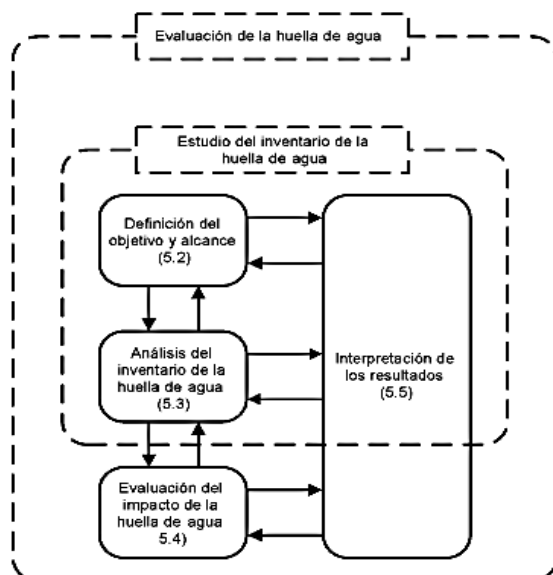
Fuente: Elaboración propia con base en la Asociación Española de Normalización y Regulación (AENOR, 2014)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó la Norma ISO 14046:2014 de gestión ambiental: Huella de agua, principios, requisitos y directrices. Según Cristóbal, Stella y Olivera, Andrés (2014) su objetivo es facilitar a las organizaciones y gobiernos, una forma cuantitativa de evaluar el impacto potencial por uso y contaminación del agua; sustentado en la metodología del análisis de ciclo de vida. Además, la Norma ISO 14046:2014 establece principios, requisitos y directrices para el cálculo y presentación del informe de la huella de agua, como una evaluación autónoma o parte de una evaluación ambiental que se requiera. En particular, la Norma ISO 14046 utiliza los indicadores de impacto ambiental para cuantificar los impactos asociados a los recursos hídricos. Adicionalmente, permite identificar y cuantificar las etapas clave en el uso o consumo de agua de un proceso, servicio u organización, lo que permite priorizar medidas de reducción de consumo y contaminación de aguas (Fundación de Chile [FCH], 2016). En síntesis, la Norma ISO permite: una gestión eficiente de los recursos hídricos, la optimización de las inversiones, facilita la toma de decisiones para focalizar esfuerzos con el fin de reducir consumos, impactos y conflictos derivados del uso de agua (AENOR, 2014).

La Norma ISO establece que la metodología para la evaluación de huella de agua es un proceso iterativo, e incluye cuatro fases que se mencionan a continuación y se muestran en el Gráfica 1:

- a. Definición de objetivos y alcance
- b. Análisis de inventario de huella de agua
- c. Evaluación del impacto de la huella de agua
- d. Interpretación de los resultados

Gráfica 1. Relación de las fases de la evaluación de la huella de agua



Fuente: Instituto de normas técnicas de Costa Rica [INTECO], ISO 14046:2015 (INTECO, 2015,p.22)

2.1.1 Definición del alcance y objetivos

En esta primera fase se busca definir los objetivos del estudio, considerando un solo indicador o un perfil de indicadores para la evaluación de los impactos asociados con el uso de los recursos hídricos. Es indispensable que se establezcan las etapas del proceso o servicio a evaluar. Si para lo anterior únicamente se va a tomar una parte, debe justificarse desde el punto de vista científico la exclusión de las demás etapas. En síntesis: en la primera etapa se debe definir el objetivo de realizar el estudio, el alcance, la unidad funcional (base de cálculo), los límites del sistema, los tipos de impacto que se presentarán, la metodología de evaluación de impacto, las limitaciones y los requisitos de calidad de los datos.

Uno de los aspectos más importantes durante esta etapa es la definición de la unidad funcional. La unidad funcional se define, según INTECO (2015), como un indicador cuantitativo del rendimiento del sistema productivo, proceso u organización para uso como unidad de referencia o como una base de cálculo. Por lo que la *unidad funcional* es la medida cuantitativa en que se deberán expresar todos los cálculos realizados sobre la huella de agua.

2.1.2 Análisis del inventario

El objetivo principal de esta etapa es la cuantificación de todas las entradas y salidas del sistema analizado, desde o hacia el medio ambiente. Se recomienda utilizar una planilla para el levantamiento de información y facilitar la recolección de los datos. Los principales obstáculos que se presentan para la obtención de datos consisten en lo siguiente:

- La información disponible no es representativa geográfica o estadísticamente
- La información que se requiere no se conoce
- Los mecanismos de medición y seguimiento son insuficientes.
- Confidencialidad de la información (p.12).
- Cobertura de agua potable y de tratamiento de agua residual.
- Datos de disponibilidad de agua.
- Datos directos de estaciones de medición en las cuencas.
- Datos de caudales de ríos y nivel freático de pozos.
- Volumen de agua concesionada.
- Información del balance hídrico de las cuencas nacionales (p.13).

Algunas de las fuentes de información que han sido sugeridas por COSUDE-CADIS (2016) incluyen las organizaciones gubernamentales e institutos de estadísticas que registran información. En Guatemala, por ejemplo, se ha sugerido como fuentes de información los datos del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (IARNA) y el Instituto Nacional de Estadística (INE). Otra fuente de información que se puede considerar es la que brinda el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

2.1.3 Evaluación de impactos

En esta etapa se procede a calcular los indicadores de punto intermedio y punto final de la cadena causa-efecto asociados a los usos consuntivos y degradativos del agua. La evaluación de impactos vincula los resultados del análisis de inventario

con los efectos potenciales en el medio ambiente. Los indicadores de punto medio y de punto final dentro de esta etapa, son los factores cuantitativos que miden el efecto potencial que se produce en el medio ambiente asociado con los recursos hídricos. Para realizar una evaluación integral, se deben considerar todos los impactos ambientales potenciales, tanto en la calidad como en la cantidad de los recursos hídricos.

2.1.4 Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados se debe dar una respuesta cualitativa a los resultados de huella de agua obtenidos en la evaluación de impactos. El objetivo de la interpretación de resultados es poder identificar los puntos críticos en el consumo y uso de agua durante la cadena de suministro del servicio o producto. La interpretación de los resultados debe explicar cuál es la etapa que posee mayor impacto. Por lo tanto, los indicadores de punto intermedio y de punto final identifican si los impactos ambientales asociados se deben al consumo de agua, uso de agua o por localidad (emisión de contaminantes). De igual modo, se identifica si el impacto ambiental es de manera directa o indirecta con respecto al sistema analizado.

2.2 Cogeneración en Guatemala

2.2.1 Historia

La Cogeneración en Guatemala en la industria agro-azucarera se implementó desde hace más de 70 años. En sus inicios la industria agro-azucarera usó estos sistemas de generación de energía eléctrica con el fin de satisfacer las demandas energéticas para uso interno de los procesos de elaboración de azúcar (Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar [CENGICAÑA], 2014).

En el periodo de 1960 a 1996 el organismo rector del sector eléctrico fue el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) que operó junto con la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.(EEGSA) el sistema central interconectado para la generación y distribución de energía eléctrica. El aumento de la demanda de energía obligó a la

ampliación del mercado eléctrico. En consecuencia, a mediados de los años 90 empezaron las gestiones en Guatemala para iniciar el mercado eléctrico. Al mismo tiempo se desarrolló el marco legal básico para las operaciones de energía eléctrica para el sector privado. El 16 de octubre del año de 1996, el Congreso de la República aprobó la Ley General de Electricidad, Decreto 93-96, publicada en el diario oficial el 21 de noviembre de 1996. El Decreto 93-96 de la ley general de electricidad que legisla a favor de un régimen privado, permitió el paso de un sistema central interconectado a un sistema nacional interconectado para una mayor cobertura de energía eléctrica. Este Decreto 93-96, del Congreso de la República de Guatemala propició la creación de las condiciones aptas para los nuevos participantes del nuevo marco competitivo en las ramas de generación, transmisión, distribución y comercio de energía eléctrica (INCYT, 2015).

A partir de 1996, en el mercado eléctrico guatemalteco, los únicos generadores de energía eléctrica reconocidos como cogeneradores, son los ingenios azucareros. La inclusión del sector de la industria agro-azucarera a la matriz energética de Guatemala se da a partir de sus excedentes de energía eléctrica, los cuales se conectan a la red de distribución nacional.

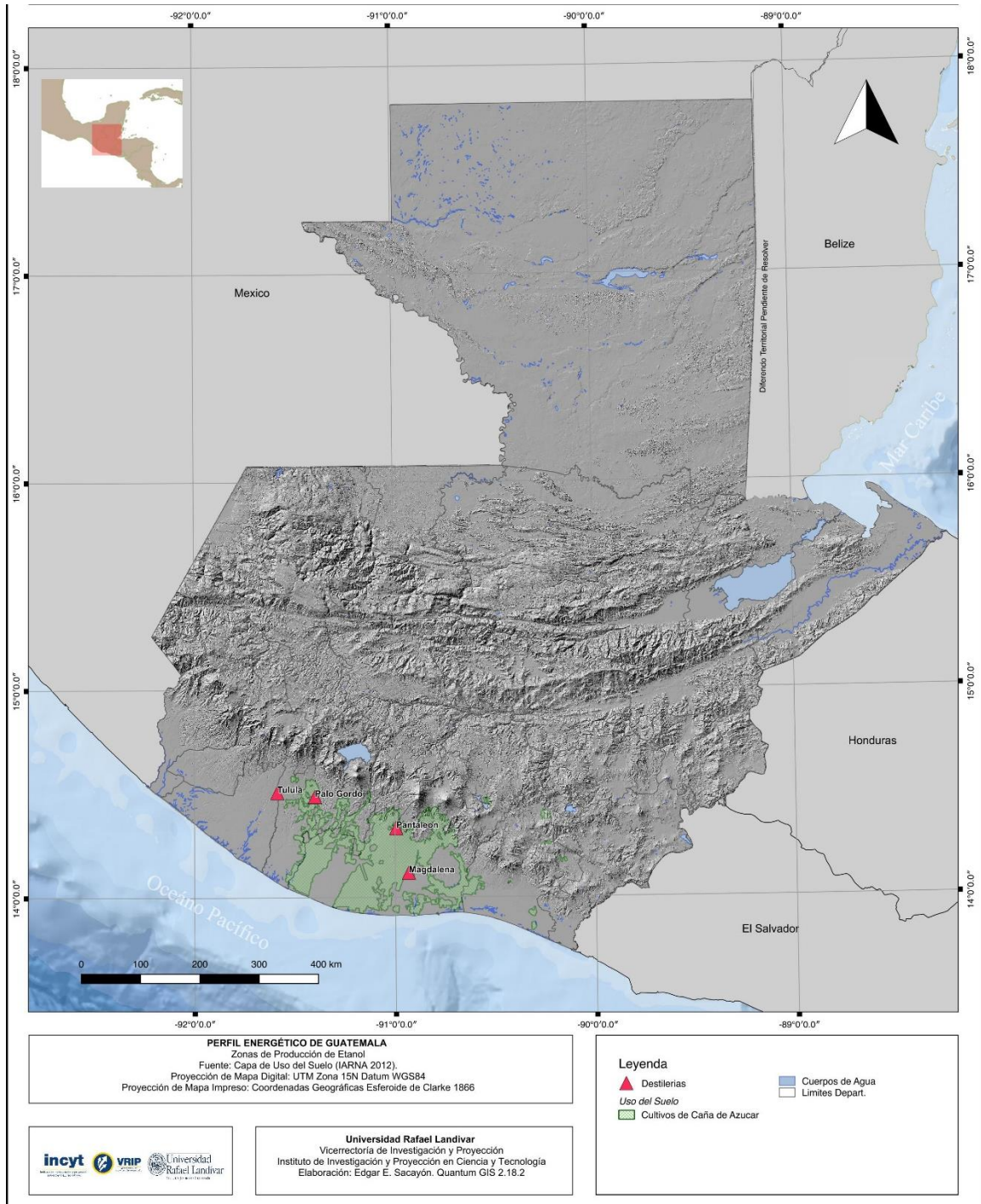
2.2.2 Ubicación geográfica

La agroindustria azucarera en Guatemala está conformada por 12 ingenios activos, de los cuales diez de ellos se encuentran distribuidos geográficamente en la costa sur de Guatemala, CENGICAÑA, (2014),p.34. Estos ingenios son:

- Ingenio Pantaleón
- Ingenio Concepción
- Ingenio La Unión
- Ingenio Magdalena
- Ingenio Palo Gordo.
- Ingenio El Pilar
- Ingenio Trinidad
- Ingenio Santa Ana
- Ingenio Madre Tierra
- Ingenio Santa Teresa
- Ingenio La Sonrisa
- Ingenio Tululá.

En el Gráfico 2 se observa la ubicación geográfica de los ingenios.

Gráfico 2. Ubicación Geográfica de los Ingenios Azucareros en Guatemala



Fuente: INCYT, 2017 Perfil energético de Guatemala.

2.2.3 Importancia de la Cogeneración en la Matriz Energética

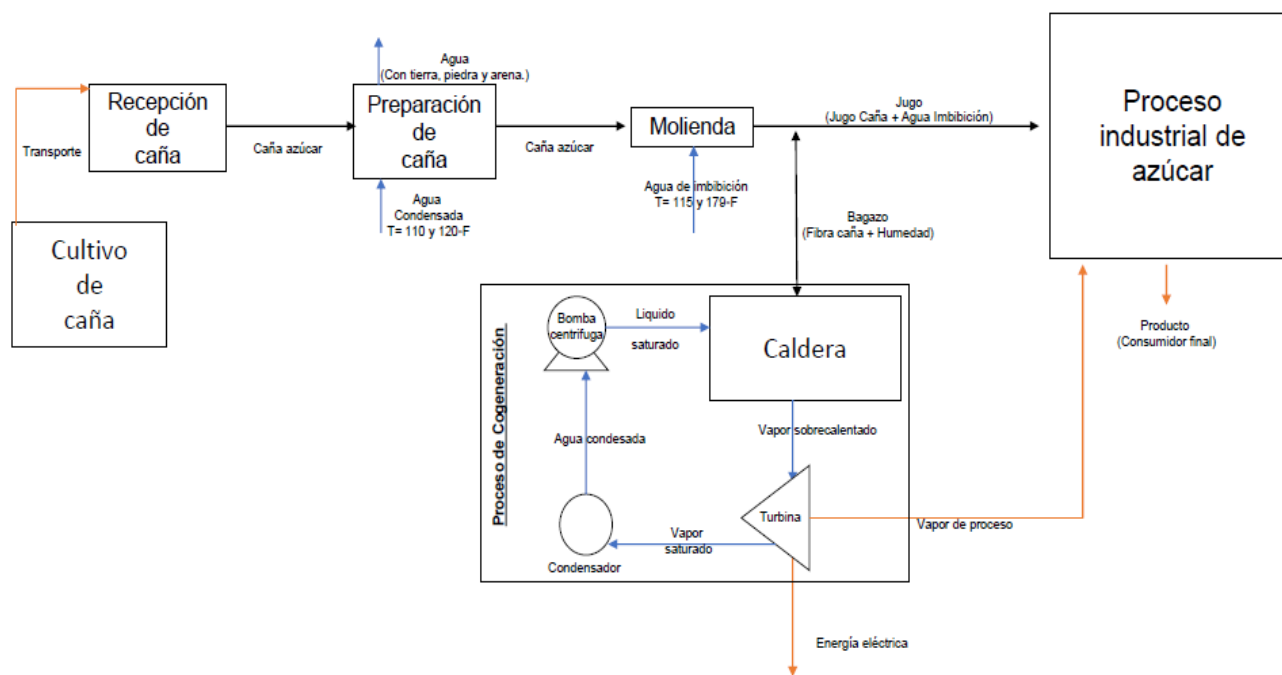
En el 2017, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala (CNEE, 2017) reportó que los sistemas de cogeneración del país aportan un 28.27% de la energía eléctrica total suministrada al sistema nacional interconectado. La producción de energía eléctrica proveniente de biomasa del bagazo de caña de azúcar es sumamente rentable en Guatemala ya que utiliza los residuos del proceso de producción de azúcar. La cogeneración permite obtener energía eléctrica y energía térmica para cubrir las demandas energéticas de los ingenios.

La época de cultivo de caña para la producción de azúcar se conoce como zafra. En esta época, el combustible mayormente utilizado es el bagazo de la caña de azúcar; en otras épocas, cuando la biomasa se vuelve más escasa, se utilizan otros combustibles como el bunker (combustible fósil), etanol, biogás y carbón mineral. Esto genera una variación estacional en las fuentes de combustible que se utilizan para la cogeneración en los ingenios azucareros.

2.3 Cadena de suministro de la cogeneración

En el siguiente diagrama (Gráfica 3) se describen las etapas del proceso de cogeneración, analizado desde el cultivo de caña hasta la obtención de energía eléctrica.

Gráfica 3. Diagrama de flujo de un sistema de cogeneración



Fuente: Elaboración propia basado en CENGICAÑA, (2014)

2.3.1 Cultivo de caña de azúcar

El cultivo de caña de azúcar se inicia con la preparación de la tierra; el objetivo primordial es obtener un buen desarrollo de las raíces, para que a partir de los fertilizantes empleados y las condiciones a las cuales se vea expuesta la semilla, se pueda obtener una buena caña de azúcar. Se debe resaltar que la preparación del suelo es importante para la obtención de fibra de caña (bagazo). Para lo anterior se lleva a cabo el arado del suelo en dirección de los surcos de cultivo y por ello el área es quemada, previo a la siembra de la semilla de la caña de azúcar. El arado consiste en introducir un equipo especial que posee una barra con unas cuchillas (cincales de arados), el cual es jalado por un tractor, cuya principal característica es aflojar el suelo para el área en donde se plantará la semilla de caña de azúcar, sin invertir, ni mezclar las distintas capas de la estructura del suelo.

Para la siembra, se divide los tallos de la semilla de la caña de azúcar en piezas de 30 cm de largo, dejando tres o cuatro uniones de tallo para producir brotes. En los surcos que son arados, las piezas de la semilla de la caña son colocadas de forma horizontal. Una vez colocada de esta forma, se procede a cubrir el área con la tierra propia del suelo. En esta etapa es importante mencionar que el riego empleado para el desarrollo de la caña, en Guatemala, se emplean diferentes técnicas, las más importantes se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de técnicas de riego en Guatemala

Riego	Descripción
Por gravedad	Se desarrolla por medio de una tubería poli-tubular que lleva el agua desde el área de captación hasta donde se distribuye por medio de la superficie del suelo.
Por aspersión	Empleando motobombas, dos equipos de riego de pivote (en base) central fija, distribuye el agua de manera uniforme por diferentes períodos de tiempo.
Con pivote central	Herramienta cuya tecnología de aspersión permite un control más computarizado, funcionando con un motor que cuenta con un diseño de motobombas y turbinas, el cual permite el desplazamiento del equipo para la distribución del agua por medio de la aspersión, dando como resultado un riego más mecanizado.
Por aspersión- gravedad	Es un sistema que busca aprovechar la pendiente del terreno para que llegue el agua a los puntos de distribución donde se conectan a 2 aspersores, con un tractor que propicia el movimiento de la tubería, los aspersores y accesorios en el campo.

Fuente: Elaboración propia basado en CENGICAÑA,(2014)

Para la cosecha en Guatemala el 85% se realiza mediante corte manual y el otro 15% se realiza por medio de maquinaria automatizada. Este último se lleva acabo con equipos previamente diseñados para cosechar. Ahora bien, el tipo manual, es ejecutado por trabajadores quienes utilizan diversas herramientas, como por ejemplo: machetes, hachas, azadón, entre otros.

Posterior a la cosecha de la caña de azúcar, se emplean camiones que transportan en varias canastas la caña hacia la fábrica, estos vehículos se les conoce como “tractomulas”; en promedio transportan 3000 toneladas de caña por camión.

Es importante recalcar que el área de plantaciones de la zona cañera de la costa sur de Guatemala, representa un total de 230,000 hectáreas sembradas de caña de azúcar, según los datos registrados por CENGICAÑA, (2014) para el año 2009. Esto representa el 33% del valor total de exportaciones agrícolas y el 15% de las exportaciones totales de Guatemala durante el año 2016.

2.3.2 Recepción y preparación de la caña de azúcar

El proceso industrial se inicia con la recepción de la caña en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar hacia la industria agro-azucarera (Ingenio), para determinar el peso de la caña de azúcar. Además, se determina la calidad de la materia prima, tomando muestras que deben ser analizadas, ya que la obtención de caña de azúcar se lleva a cabo a través de fincas propias u otras proveedoras de la industria agro-azucarera, CENGICAÑA (2014).

La caña que ingresa se descarga en las mesas alimentadoras, las cuales están diseñadas para descargar la caña directamente desde las unidades de transporte. Estas cuentan con un rodo nivelador para homogenizar la altura de la caña. Posterior a ello se aplica agua para el lavado de la caña entre 110°F y 120°F, para eliminar sólidos o materia extraña que posea la caña, tales como tierra, sales, minerales, piedras y otros que se adhieren a ella en el campo durante el alce a las jaulas. A su vez, en las mesas alimentadoras por la acción de cuchillas (picadoras oscilantes) la caña se rompe y la desintegración del tejido de la caña se lleva a cabo por machetes (o martillos) oscilantes sin filo, los cuales golpean los trozos reducidos de caña para prepararla para la extracción del jugo en los molinos (CENGICAÑA, 2014).

2.3.3 Molienda de la caña de azúcar

La molienda es un proceso continuo que se realiza en molinos, los cuales se encuentran colocados en serie, utilizando rodillos o mazas dispuestas en forma de “V” para la extracción y concentración del jugo de caña de azúcar. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua generalmente caliente, para extraer al máximo la sacarosa que contiene el material fibroso. En la etapa final de la serie de

molinos se obtiene un residuo, obtenido al final de la disposición del tándem (conjunto de molinos); el cual es conocido como bagazo.

El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia una bagacera para que se seque y luego disponerlo en el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa para combustible.

2.3.4 Proceso de cogeneración

Los industria agro-azucarera obtiene su energía eléctrica y térmica operando sus plantas de potencia en dos ciclos termodinámicos basado en Cengel y Yunus (2009). El ciclo de cogeneración se describe de forma concreta como un ciclo de contrapresión y ciclo de condensación. Los dos ciclos se presentan con diversas combinaciones de capacidades y parámetros de operación, con la finalidad de la producción secuencial de energía eléctrica y térmica, a partir de una sola fuente. En el ciclo de condensación, la descarga de las turbinas (vapor) es convertido nuevamente en condensado que retorna nuevamente al sistema o ciclo de cogeneración.

En consecuencia, el ciclo de contrapresión es el más utilizado, especialmente en la época de zafra ya que se emplea para abastecimiento de vapor para los procesos industriales de cada ingenio. En este tipo la descarga de las turbinas (vapor) es convertida nuevamente en condensado que retorna al sistema o ciclo de cogeneración. Básicamente el proceso se puede describir en 4 etapas:

- a. Primera etapa, el agua ingresa a una bomba centrífuga. La bomba centrífuga es el dispositivo encargado de transferir energía a la corriente del fluido para impulsarlo. La bomba centrífuga bombea el líquido saturado¹ hasta la presión de operación presente en la caldera.
- b. Segunda etapa, el agua ingresa a la caldera como fluido de trabajo. La caldera es el medio en el cual se lleva a cabo una transferencia de calor por energía térmica (calor liberado) del bagazo de caña de

¹ Líquido el cual, si se agrega energía (calor), empieza a pasar a la fase de vapor.

azúcar o el combustible empleado hacia el fluido de trabajo. Todo ello acorde a las condiciones de operación de presión y temperatura a las cuales operan los turbogeneradores de energía eléctrica.

- c. Tercera etapa, el vapor sobrecalentado ingresa a la turbina para producir un trabajo al girar el eje conectado del generador eléctrico. La energía transferida al vapor en la caldera se asume como calor, el cual trabaja para producir energía eléctrica en la turbina.
- d. En la última etapa, el vapor sale de la turbina como vapor saturado hacia el condensador. El vapor que ingresa en el condensador mediante el intercambio de calor con otro fluido, cambia de fase gaseosa a fase líquida (Garrido, s.f.). Este es condensado a presión constante, rechazando el calor hacia un medio de enfriamiento. El vapor sale en forma de líquido saturado que retorna a la bomba y se completa el ciclo. (Cengel Yunus y Boles, 2009).

El proceso de combustión consiste en la oxidación de diversos elementos combustibles, principalmente carbono (C) e hidrogeno (H) que se combinan con el oxígeno (O₂) del aire. En los sistemas de cogeneración para la combustión se necesitan entre 4 - 5 unidades de aire por cada unidad de bagazo, esto sucede en el horno de la caldera a altas temperaturas, las cuales dependen de las condiciones de operación del sistema. El flujo de aire es suministrado a determinada velocidad para favorecer la reacción de oxidación. La capacidad calorífica del combustible es liberada y convertida a energía eléctrica. En la realidad se deben considerar las pérdidas de energía y la eficiencia de los equipos, ya que no se logra una conversión del 100%. En óptimas condiciones, se pueden considerar eficiencias entre el 80% al 85%. Otro inconveniente es que esto varía puesto que depende del tipo de caña y las condiciones de cultivo. Un factor limitante para el poder calorífico del bagazo es la humedad.

Básicamente, la caldera es el equipo central donde se origina la energía térmica en forma de vapor, el vapor es el fluido que se utiliza para dar movimiento rotativo a

turbinas de vapor acopladas al sistema. El proceso de cogeneración para la industria agro-azucarera para la generación de vapor y energía eléctrica se lleva a cabo en una caldera acuotubular. La mayoría de las calderas acuotubulares operan con un horno, un economizador (calentador de agua) y un precalentador de aire.

El precalentador ayuda a intercambiar el calor gracias a los arreglos de tubería. El diseño de este permite que fluyan los gases de combustión, que van hacia la chimenea para su liberación hacia el medio ambiente, por fuera de los tubos donde fluye el aire primario que va hacia la parrilla del horno de la caldera. El objetivo del precalentador es el intercambio de calor entre los gases y el aire de combustión, para favorecer la velocidad de ignición en el horno al ingresar a mayor temperatura.

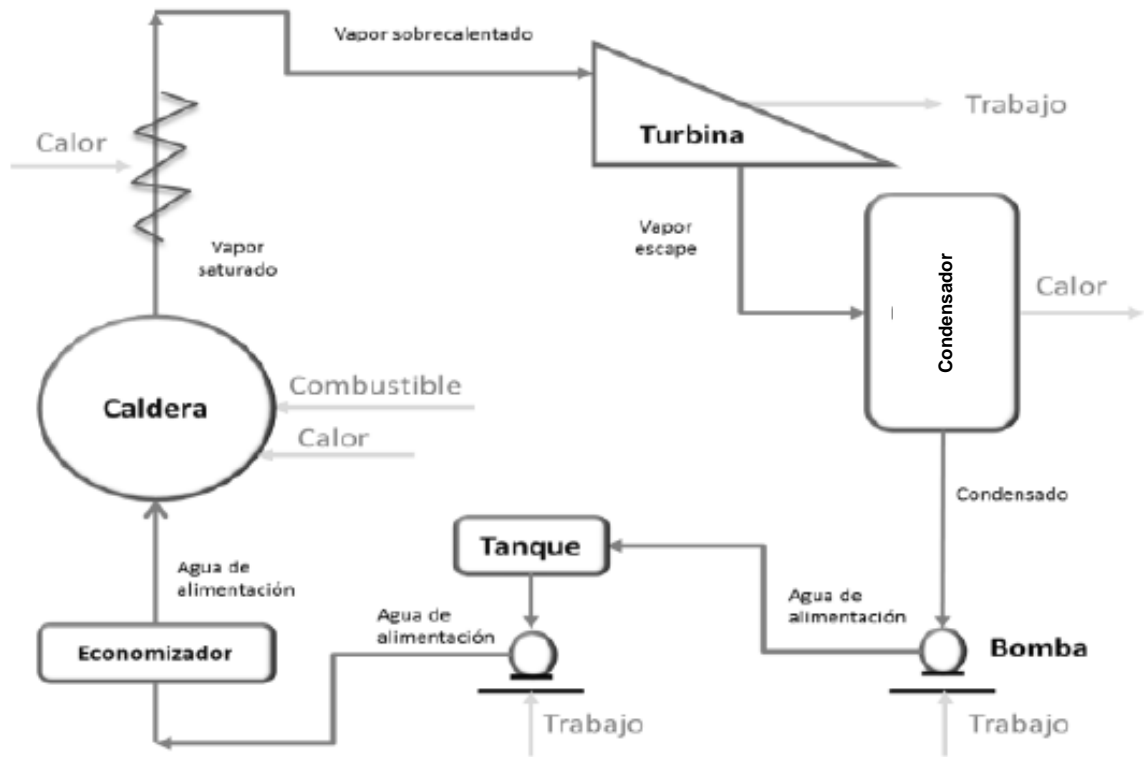
Por otra parte, previo al ingreso del agua de alimentación de la caldera, el economizador aprovecha el calor de los gases que han salido del horno para transferírsele.

El horno de una caldera acuotubular es un espacio cerrado, cuyas paredes están formadas por tuberías en paralelo. Estas tuberías están llenas de agua, que desde el exterior reciben el calor de la combustión del bagazo. Cuando el agua dentro de los tubos alcanza la temperatura adecuada, se convierte en vapor y por la diferencia de presión y densidad es conducido desde la caldera hasta la turbina donde se efectúa un trabajo. El vapor hace girar los rotores para poder producir la energía eléctrica en mención. El piso del horno, también llamado “parrilla”, está conformado por un área con zonas perforadas (de un diámetro pequeño), por donde entra el aire primario que suministra el oxígeno necesario para la combustión (oxidación) del carbono e hidrógeno del bagazo en la caldera.

La producción de energía eléctrica se lleva a cabo en los turbogeneradores (turbina), en los que se aprovecha entre el 25-40% de la energía térmica del vapor, la que se transforma en trabajo mecánico al hacer girar el eje de la turbina. El vapor de escape que estos turbogeneradores descargan se envía exclusivamente a la fábrica de azúcar o en algunos ingenios, para la producción de etanol en las destilerías.

En la Gráfica 4 se ejemplifica el proceso de cogeneración, sin recuperación de calor, como se describió con anterioridad, el ciclo de contrapresión.

Gráfica 4. Proceso de cogeneración



Fuente: Muñoz , (2015)

3. Planteamiento del problema

Uno de los problemas vigentes en Guatemala es que existe una mala gestión de los recursos hídricos. En el país no existe una ley que permita regular el uso y aprovechamiento de fuentes hídricas naturales. A pesar de que en el Congreso de la República de Guatemala se han presentado 27 iniciativas de ley, ninguna de estas ha prosperado. Por lo mismo, el uso y aprovechamiento del agua no se encuentra regulado. Por lo tanto, es necesario tener una iniciativa que permita regular el uso del agua en todo el país, desde el doméstico hasta el de las industrias (Henry & Gramajo, 2016). Se enfatiza en que la dotación de agua no satisface las diversas demandas de la población. (Colom de Morán & Morales de la Cruz, 2011). Uno de estos problemas se presenta en los procesos de la industria azucarera porque se necesita agua para el cultivo de caña y los procesos industriales. Debido a la ubicación geográfica de estas industrias, una mala gestión de este recurso afecta a los ecosistemas terrestres, marítimos y a las comunidades (World Rainforest Movement, 2009).

Por tal razón se sugiere que se utilicen herramientas de análisis de sistemas de producción que manejen la perspectiva de ciclo de vida. La huella de agua es una herramienta que permite analizar cada una de las etapas de un proceso o servicio, los usos y/o consumos de agua de forma directa o indirecta.

Se partirá de la problemática anterior para formular la siguiente interrogante:
¿Es posible evaluar la huella de agua basado en la Norma ISO 14046:2014 a los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera en Guatemala?

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación del análisis de la huella de agua basado en la norma ISO 14046:2014 a los procesos de cogeneración con biomasa en Guatemala.

3.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar la información necesaria para construir los inventarios hídricos de los procesos de cogeneración en Guatemala de la industria azucarera por medio del análisis de huella de agua basado en los requerimientos de la Norma ISO 14046:2014.
2. Evaluar la aplicabilidad de la Norma ISO 14046:2014 a los sistemas de cogeneración en Guatemala, con bagazo de caña.
3. Identificar la etapa del sistema de cogeneración con mayor potencial de producir estrés hídrico.

3.2 Alcances y límites

3.2.1 Alcances

El principal alcance es evaluar la aplicación del marco metodológico de la Norma ISO 14046:2014, basado en que “la evaluación de la huella de agua se puede realizar como una evaluación única e independiente como parte del análisis del ciclo de vida” (INTECO, 2015).

Se hizo una evaluación independiente del análisis de huella de agua, por medio de las bases metodológicas que se han desarrollado según las recomendaciones actuales de expertos en el tema. Todo lo anterior para determinar si la industria guatemalteca, en especial la industria agro-azucarera, se encuentra apta actualmente para poder aplicar lo que regula la misma Norma. Por lo tanto, se presenta una herramienta de gestión ambiental para la evaluación del sistema de cogeneración a base de bagazo de caña de azúcar, considerando desde la etapa de cultivo de la caña hasta la generación de electricidad.

3.2.2. Límites

Se buscó evaluar la viabilidad de aplicar la huella de agua a los sistemas de cogeneración en Guatemala, a partir de la revisión de la información existente para

el periodo de zafra 2016 – 2017. Basado en el marco metodológico de la Norma ISO 14046:2014, se solicitó la información del período comprendido de octubre 2016 hasta el mes de abril 2017. El estudio concierne a la zona geográfica de Escuintla, específicamente la zona cañera (Gráfico 2), sin embargo, debido al proceso de evaluación basado en los sistemas de cogeneración para la generación de energía eléctrica de la industria agro-azucarera, y por ser un sector privado, la información sobre sus procesos no es de acceso público lo que se demuestra en registros incompletos, falta de documentación y bases de datos de procesos cobradas, entre otros.

En consecuencia, no se realizó una evaluación integral para evaluar la huella de agua, para dar cumplimiento a los requerimientos de la Norma ISO 14046:2014, debido a que una implementación de Norma conlleva un equipo de trabajo para dar cumplimiento a todos los requerimientos que en ella se mencionan, y es un proceso tanto externo como interno de la institución o empresa interesada en certificarse.

3.3. Aportes

En Guatemala, la aplicación de la Norma ISO 14046:2014 permitirá el desarrollo de métricas ambientales. Además, la implementación de la evaluación de la huella de agua basada en la Norma ISO 14046:2014, permite conocer la metodología para la cuantificación de los impactos ambientales asociados a los recursos hídricos.

A la industria agro-azucarera, la evaluación de la aplicación de la Norma ISO 14046:2014 en los sistemas de cogeneración permitirá la toma de decisiones con base en información más completa, ya que tendrán una herramienta que considere las dificultades técnicas que conlleva el estudio bajo los lineamientos que establece la Norma ISO 14046:2014.

Este documento puede servir como fuente de investigación y/o guía a futuros estudiantes de Ingeniería o carreras afines, que deseen desarrollar el estudio de la huella de agua basado en la Norma ISO 14046:2014. Se tendrá como ejemplo la aplicación realizada a los sistemas de cogeneración en Guatemala.

4. Metodología

4.1. Determinación de la información necesaria para los inventarios hídricos

Para poder cumplir con el primer objetivo se realizó una visita técnica en donde se observó la plantación de cultivo de caña, así como también el sistema de producción de energía eléctrica de la planta de cogeneración de Ingenio Magdalena. En dicha visita se tuvo acceso a todas las áreas de producción, en donde se utilizaban diferentes tipos de combustibles, tales como: carbón, madera y bagazo de caña entre otros. Gracias al enfoque en la parte de la planta que utiliza bagazo de caña de azúcar se pudieron conocer los aspectos generales del proceso productivo y se identificaron los puntos clave en usos directos de agua, insumos y energía, entre otros.

A partir de la información presente en la base de datos de Ecoinvent 3.4, específicamente del modelo brasileño de cogeneración de energía eléctrica, se identificó la información necesaria para la construcción de inventarios para el análisis de ciclo de vida propuesto en la Norma ISO 14046:2014. El inventario analizado para el presente estudio hace énfasis en la producción de 1 kg de azúcar con el que se obtiene como coproductos 1 kg de etanol, 1 kg de bagazo en exceso, 1 kWh de electricidad y 1 kg de vinaza. En este caso se tiene un inventario de múltiples productos basados en la caña de azúcar como un insumo, y los procesos asociados. Con base en el inventario y en la experiencia obtenida con las visitas de campo, se hizo una propuesta con los datos necesarios para la adaptación del modelo de producción de Brasil, para la construcción de un inventario de análisis de ciclo de vida, específicamente para los sistemas de cogeneración en Guatemala con bagazo de caña de azúcar.

4.2 Evaluar la aplicabilidad de la Norma ISO 14046:2014 a los sistemas de cogeneración en Guatemala

Para cumplir con el segundo objetivo y evaluar la aplicabilidad de la Norma, se parte de la revisión de la documentación existente con respecto a los registros asociados al uso y/o consumo de agua de Ingenio Magdalena a los que se tuvo acceso, con el

fin de evaluar si se detallan todos los datos que deben ir relacionados con el agua, en dicho Ingenio. Esto se logró gracias al tiempo que se laboró como profesional dentro de las instalaciones de dicho ingenio.

Adicionalmente, se consultó a profesionales de la materia, destacándose la entrevista del jefe de sostenibilidad y gestión ambiental, para consultar y resolver dudas acerca de cuál es la forma en que se llevan los registros históricos respecto a la utilización del agua (origen y destino) y bajo qué regulaciones trabajan actualmente (Ver Anexo 1).

4.3 Identificación de la etapa del sistema de cogeneración con mayor potencial de producir estrés hídrico

Para cumplir con el tercer objetivo se realizó una evaluación de impacto del estrés hídrico usando como referencia un modelo genérico de cogeneración en Brasil, el cual es un proceso documentado, que cuenta con su base de datos en Ecoinvent 3.4. El modelo elaborado hace referencia a dos etapas: la primera se refiere a la producción de energía eléctrica y la segunda al cultivo de caña de azúcar, ambas desarrolladas en Brasil (Ver anexo 3).

Una evaluación de impacto según la Norma ISO 14046:2014 consiste en la caracterización de los resultados del inventario. En la Norma se establece: “La evaluación de la huella de agua se puede realizar como una evaluación única e independiente, o como parte del análisis de ciclo de vida” (pág.21). Para una mejor comprensión del software OPEN LCA® y para cuantificar los impactos, el resultado se estima mediante una sumatoria de la multiplicación de la cantidad de emisión o consumo del recurso por un determinado factor de caracterización específico para dicha emisión o consumo, lo cual se describe en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Caracterización de categorías de impacto.

$$Impacto_{categoría} = \sum_i m_i * CF_{categoría}$$

Donde:

m_i = cantidad de emisión de la sustancia o consumo de recurso i

$CF_{Categoría_i}$ = factor de caracterización según la categoría de impacto y la sustancia i

Fuente: Suppen, 2013.

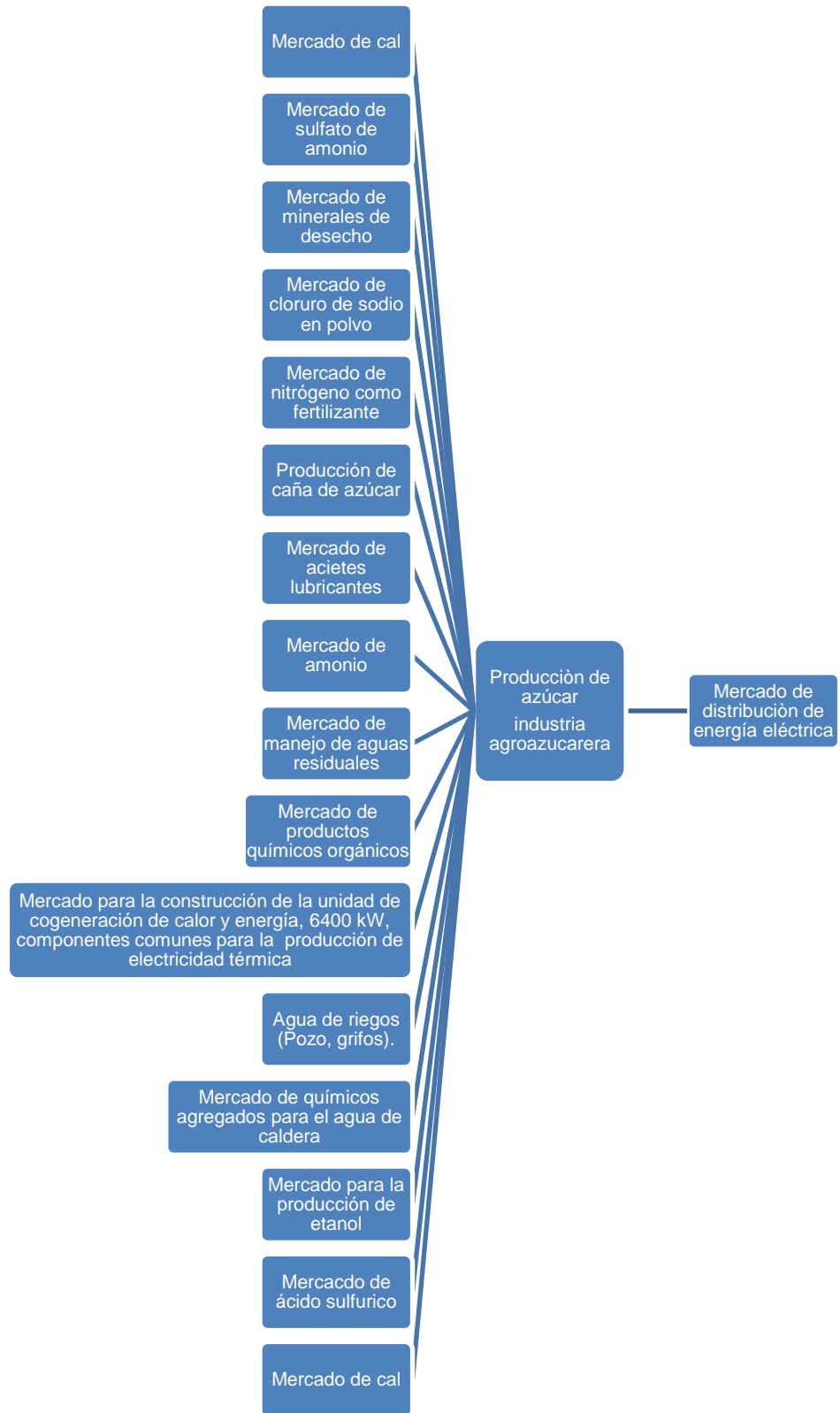
A partir de la cantidad de las emisiones y consumos específicos de agua, con el modelo genérico de Brasil (ver Gráfico 5) se calculó la sumatoria de los consumos y emisiones que se registran en el inventario de ciclo de vida presentado en Ecoinvent 3.4. Con lo anterior se procedió a identificar la etapa que más consume agua para el proceso de generación de energía eléctrica de la industria agroazucarera, apoyado con el software OPEN LCA®, que por medio de un porcentaje de barras condensa la información y permite identificar la etapa en mención (Ver Anexo 6).

5. Resultados y discusión

5.1 Determinación de la información necesaria para adaptación de parámetros del inventario hídrico

La información necesaria para la adaptación de parámetros del inventario hídrico se determinó con la base de datos de Ecoinvent 3.4. El modelo construido para la producción de energía eléctrica considera todos los insumos de producción de azúcar, la construcción de infraestructura basada en una planta de 6400 kW de electricidad, las actividades de operación, mantenimiento, transporte, entre otros (Ver Anexo 3). En el Gráfico 5 se presenta el modelo de cogeneración brasileño construido en el programa OPEN LCA®.

Gráfico 5. Modelo de producción de energía eléctrica en Brasil



Fuente elaboración propia basado en Ecoinvent 3.4 del modelo de cogeneración de Brasil.

Para cumplir el objetivo 1 se consideró que a nivel internacional la metodología aceptada para el cálculo de la huella de agua es la ISO 14046:2014, cuyo proceso de evaluación se muestra en 4 etapas anteriormente descritas (ver inciso 2.3.4). La Norma indica que “La evaluación de la huella de agua se puede realizar como una evaluación única e independiente, como parte del análisis de ciclo de vida”(pág.22, inciso 3.2.1), como se detalla en el apartado de 5.1 Requisitos generales (INTECO, 2015). Además, en la Norma se nombran los requisitos a considerar para la recopilación de datos, sin embargo, mucha de la información requerida no se encuentra disponible o no posee la suficiente trazabilidad para tener confiabilidad de la información proporcionada.

En conformidad con lo anterior, el análisis del inventario de la huella de agua es la fase de la metodología que requiere mayor atención. Entre las dificultades que se presentaron para la obtención de datos se encuentra que:

- la información requerida no se conocía
- no existen los suficientes mecanismos de medición y seguimiento
- la confidencialidad de la información no permitió acceder a la información necesaria.

Por ello se construyó el modelo en mención (Ver Gráfico 5), en donde se usó la base de datos de un modelo de cogeneración brasileño que sirve para la industria agro-azucarera, con el que se identificaron los parámetros necesarios para construir un modelo guatemalteco con el que se obtuvo una primera aproximación de los resultados de huella de agua (Ver Anexo 4).

El modelo se construyó a partir de un flujo de referencia (la energía eléctrica) para su mejor comprensión. Específicamente la que se produce dentro del ingenio azucarero, en el cual se evalúa el sistema de producción de energía eléctrica como parte interna de la operación de un ingenio típico en Brasil, se parte siempre de la actividad de cultivo de caña y los procesos que involucran la producción de azúcar. A pesar de que es un proceso de múltiples productos, únicamente consideran los

coproductos del bagazo de caña de azúcar, etanol y vinaza. Los resultados presentados en la base de datos de Ecoinvent, son resultados promedio de todos los sistemas de producción en Brasil, es decir, que por esta razón el modelo incluye dentro de sus coproductos el etanol, debido a que en la mayoría de estas industrias se anexa una destilería para la producción de etanol a partir de la miel final (melaza), pero no en todos los ingenios se lleva a cabo, como el caso de los de Guatemala. Para el objetivo del estudio no es significativo que se incluya la producción de etanol en el modelo construido.

En los ingenios azucareros, la energía eléctrica que se produce es distribuida hacia la red nacional, pero por las legislaciones vigentes en cada uno de los países, les descuentan la energía eléctrica que consumen, y en el inventario de ciclo de vida se considera como un insumo. El modelo elegido va de una actividad a otra partiendo de un sistema de producción en el cual se cuantifican de forma detallada todas las entradas y salidas, clasificando entre flujos elementales (ingresos y egresos del medio ambiente) y flujos de procesos (ingresos y egresos propios de la tecnosfera).

En esta investigación se hizo la revisión del modelo de producción de Brasil; a partir de la experiencia de campo adquirida y en base a la información obtenida por expertos que trabajan en los diferentes procesos dentro del ingenio (Ver Anexo 1, Entrevistas), se logró proponer la Tabla 4, la cual contiene los datos e información necesaria para la construcción de un modelo guatemalteco. Se asume que dicho modelo se adapta al resto de sistemas de cogeneración existentes para los Ingenios en Guatemala, pero es indispensable recalcar que en el mismo no se toma en cuenta la energía total producida por biomasa; específicamente del bagazo de caña, ya que en Brasil al igual que en Guatemala, durante la época de zafra se utilizan otras fuentes como combustibles para la obtención de energía eléctrica. Los datos presentados del ingenio guatemalteco significan un aporte del 23% a la matriz energética de Guatemala, por lo que se concluye que sí es significativo para este país.

Tabla 4. Resultado Núm. 1. Parámetros identificados para la construcción necesarios para adaptar el modelo en la base de datos Ecoinvent

ETAPA INDUSTRIAL			
Descripción	Cantidad	Fuente	Observación
Producto de Referencia			
Energía eléctrica	985,268,449.1 kWh	Cogeneración Ingenio Magdalena, 2017.	
Coproducto			
Vapor TM (de proceso enviado a procesos industriales)	3,443,217.6 TM	Cogeneración Ingenio Magdalena, 2017.	
Gases de combustión	0.0255 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Aguas residuales	0.00000139 m ³	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Insumos (Entradas)			
Caña de azúcar	6,111,136.4 TM	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	
Bagazo de caña	1,833,340.9 TM	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Se expresa como el 30% obtenido del total de caña ingresado.
Construcción de planta de Cogeneración	0.000000004 Unidad	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Componentes de planta de electricidad para producción de vapor y electricidad	0.000000017 Unidad	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Aceites lubricantes	1,620.0 gal	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	
Insumos del ambiente (Entradas)			
Agua de río	7,838,208.0 m ³	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	
Molienda	1,959,552.0 m ³		Recepción en patio de caña.
Cogeneración, Agua de lavado(separadores de ollin)	5,878,656.0 m ³		
Agua para generación de energía eléctrica	9,797,760.0 m ³	Cogeneración Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Se obtiene entre agua de pozo y agua de río.
Agua de pozo			
Mantenimiento	2,449,440.0 m ³	Cogeneración Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Limpieza, aguas de enfriamiento de equipos y aguas de servicios
Agua de imbibición	5,021,352.0 m ³	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	25% de agua que se aplica en proceso.
Agua de caña de azúcar	3,290,611.9 TM	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Balance de masa.
Emisiones al aire (Salidas)			
Dioxido de carbono	586,669.1 TM	Instituto de Cambio Climatico(ICC), 2014.	Se asume factor para el bagazo por valor de huella de carbono 0.32 g CO2 / g azúcar producido.
Oxígeno	No disponible		
Monóxido de carbono	0.000000318 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Oxidos de nitrógeno	0.000004060 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Dióxido de azufre	0.000004400 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Sulfuro de hidrógeno	No disponible		
Sólidos(hollín, polvo, partículas)	No disponible		
Emisiones al agua (Salidas)			
Sólidos(hollín, polvo, partículas)	0.00000579 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
Agua residual	0.00000139 kg	Ecoinvent 3.3, modelo de producción de azúcar en Brasil.	Dato expresado por producción de 1 kg de azúcar.
ETAPA AGRÍCOLA			
Descripción	Cantidad	Fuente	Observación
Semilla de Caña de azúcar			
Insumos del ambiente			
Entradas			
Irrigación con agua de río	No disponible m ³		
Precipitaciones (Lluvias)	No disponible m ³		
Salidas			
Agua consumida (Riego Efectivo)	m ³		
Agua verde	No disponible m ³		
Agua de riego infiltrada	No disponible m ³		
Agua de lluvia infiltrada	No disponible m ³		
Insumos			
Fertilizantes			
UREA (Nordic ©)	4888909.12 k	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	
Sulfato de amonio (fuente de fósforo)	458335.23 k	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	
Nitrato de amonio (fuentes de fósforo)	458335.23 k	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	
Cloruro de potasio (MOP 0060)	2138897.74 k	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	
Agroquímicos (ametrica, atracina, terbutrina, diurón)	31166795.64 kL	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Aplicabilidad de la Norma ISO 14046 a los procesos de cogeneración con bagazo de caña de azúcar en Guatemala

La Norma ISO 14046:2014 se empleó como guía de la metodología propuesta (ver inciso 4), la cual se basó en el análisis de ciclo de vida para el cálculo de huella de agua desarrollada para los sistemas de cogeneración con bagazo de caña de azúcar. Al utilizar esta Norma internacional como referencia, se requirió identificar la información necesaria para construir los inventarios de ciclo de vida (Ver Anexo 2). La Norma permite que los datos que no se posean se documenten, pero existen ciertos requerimientos con los cuales se debe cumplir para obtener una certificación de la misma. Al evaluar la aplicabilidad de la Norma para los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera de Guatemala, se observó que, de forma general, no es un requerimiento legal para la comercialización de la energía. A su vez, existen clientes externos que se enfocan en la sostenibilidad y solicitan que la mayoría de sus proveedores estén certificados con BONSUCRO (una iniciativa global sin fines de lucro que busca la reducción de impactos). Esta cuenta con tres pilares de sostenibilidad: viabilidad económica, social y ambiental; se abarcan de forma general los aspectos asociados con los productos que se desarrollan a partir de la caña de azúcar, tales como: azúcar, alcohol y energía eléctrica.

Sobre el tema del agua, BONSUCRO (2016) expresa principios, criterios e indicadores con el fin de evaluar el rendimiento de la industria agro-azucarera frente a los tres pilares de sostenibilidad. Respecto al uso de agua en el sistema de certificación en mención, el principio 5 establece dos indicadores que se deben cumplir en el área de campo y el área industrial, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Estándares de producción BONSUCRO para el agua

CRITERIOS	INDICADOR	Procesamiento y molienda	Agricultura	Verificador	Estándar	NOTAS
5.2 Mejorar continuamente el estado de los recursos de suelo y agua	5.2.1 Agua neta consumida por unidad de masa de producto	•	•	Kg de agua/ kg masa de producto	Granja < 130 Ingenio, <20 para azúcar solamente o <30 para etanol	Agua utilizada menos agua que se devuelve del ingenio al medioambiente. Si se exportan efluentes desde el ingenio a las plantaciones para el riego, el ingenio deberá llevar la cuenta del agua que devuelve al medioambiente. Si la vinaza o las aguas residuales son diluidas antes de ser aplicadas al campo, la granja deberá llevar un registro de esta extracción diluida en agua como agua consumida. <i>Para más información, se recomienda consultar la Guía.</i>
	5.2.2 Uso eficiente del agua para la caña irrigada		•	(kg/ha)/mm	>90	Asegurar el uso eficiente del agua irrigada. Se basa en una medida directa para la totalidad del agua dedicada al riego (aguas extraídas, aguas recicladas, vinaza diluida y efluentes diluidos incluidos). Solo se aplica a los sistemas de riego completos. <i>Para más información, se recomienda consultar la Guía.</i>

Fuente: elaboración propia basado en BONSUCRO(BONSUCRO, 2016,p.27).

Esto se evidencia por medio de registros de mediciones puntuales. En el área industrial se controla el ingreso de agua mediante un medidor instalado para las aguas superficiales y de pozos, realizando lecturas a cada minuto en ciertos puntos de ingreso a la planta, por ejemplo: el ingreso hacia las bombas de caldera y el agua de lavado de molinos, entre otros.

Además, se pueden mencionar los proyectos de montaje de caudalímetros para cuantificar el ingreso de ciertos puntos al sistema de cogeneración, tales como: agua de río, mediciones en la parte industrial en donde circula el agua y en salidas de agua en la que es devuelta al medio ambiente.

En el área de campo, en determinadas fincas, existen máquinas codificadas que, según las horas de operación de los equipos de riego, miden electrónicamente el consumo por metro cúbico; además de las mediciones de las precipitaciones (lluvias) que se dan en la ubicación geográfica. Esto sucede en las fincas que se encuentran dentro del alcance de la certificación.

Otro aspecto a considerar es que en la producción de azúcar no todos los proveedores se encuentran certificados BONSUCRO, por lo que el análisis de inventario que sigue la metodología propuesta por la Norma ISO 14046:2014 se vuelve más complicado de integrar.

Actualmente, se ha hecho más esfuerzo por usar menos agua. En algunas fincas se emplean sistemas de riego por gravedad o goteo y cuentan con datos históricos, pero desafortunadamente no se tuvo acceso a ellos.

En el área de fábrica del Ingenio Magdalena se puede mencionar que el uso de torres de enfriamiento mantiene el 88% del agua del proceso para extraer un 12% de agua (flujo elemental).

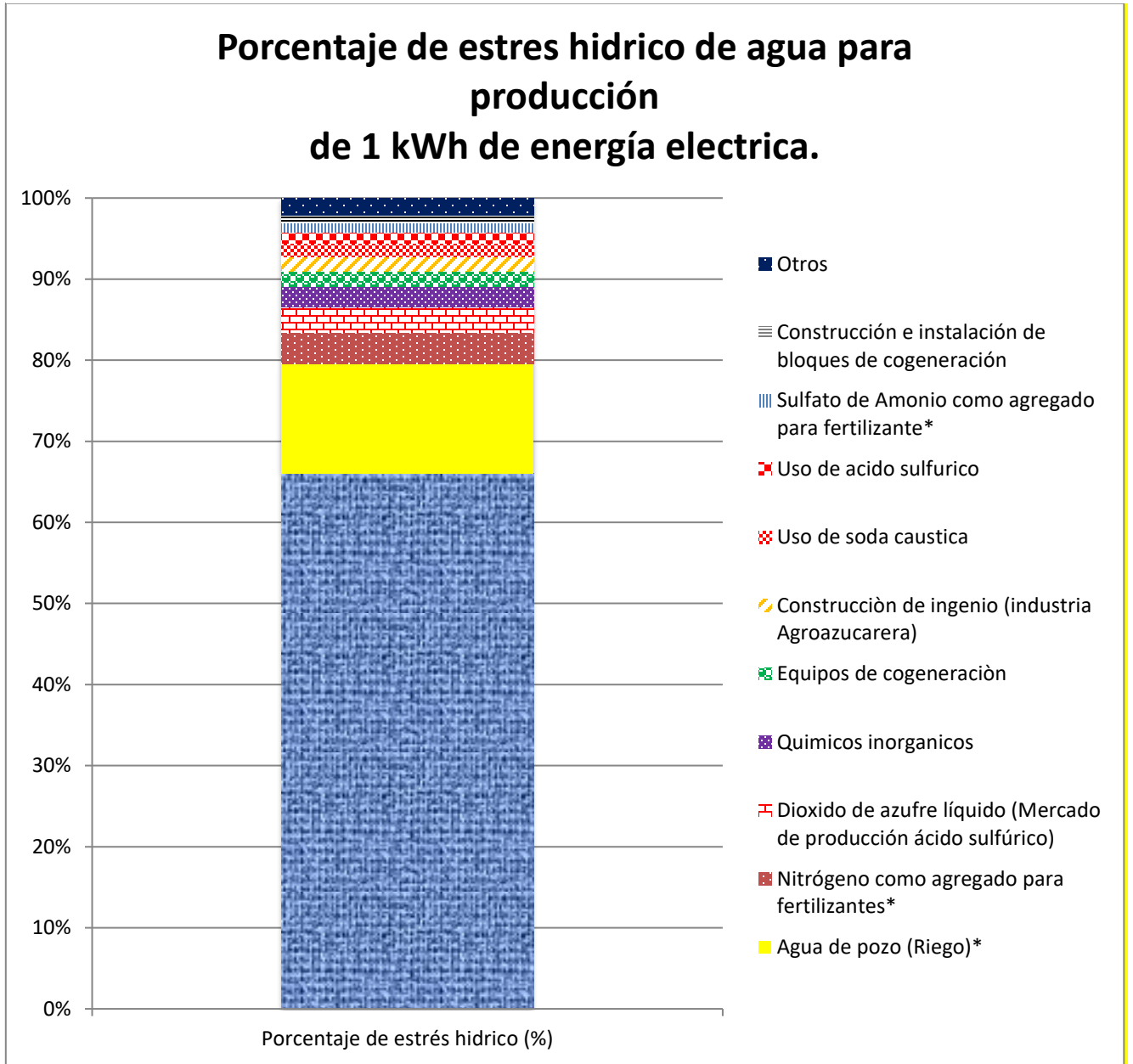
En consecuencia, no se hace énfasis en los impactos asociados a la calidad y a la disponibilidad de recurso que sí exige la Norma ISO 14046:2014, por lo que no se puede hacer una comparación cuantitativa sobre la disminución de dichos impactos a través del tiempo. Además, no se habla del agua incorporada por otros productos que se incluyen dentro de la cadena de suministro de la producción de energía eléctrica, tales como agroquímicos utilizados para el cultivo de caña de azúcar, entre otros.

Por estas razones, aunque sí existe una forma de dar levantamiento a la Norma ISO 14046:2014, esta tendrá un alcance limitado.

5.3 Identificación de la etapa con potencial de generar mayor estrés hídrico

Para identificar la parte que genera mayor estrés hídrico, se realizó un análisis de inventario por medio del software OPEN LCA® y la base de datos de Ecoinvent 3.4 con el modelo de producción de energía eléctrica de los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera en Brasil. A partir de esta información se construyó la Gráfica 6 .

Gráfica 6. Análisis de huella de agua por estrés hídrico para los sistemas de cogeneración en Guatemala



* Relacionado al cultivo de caña

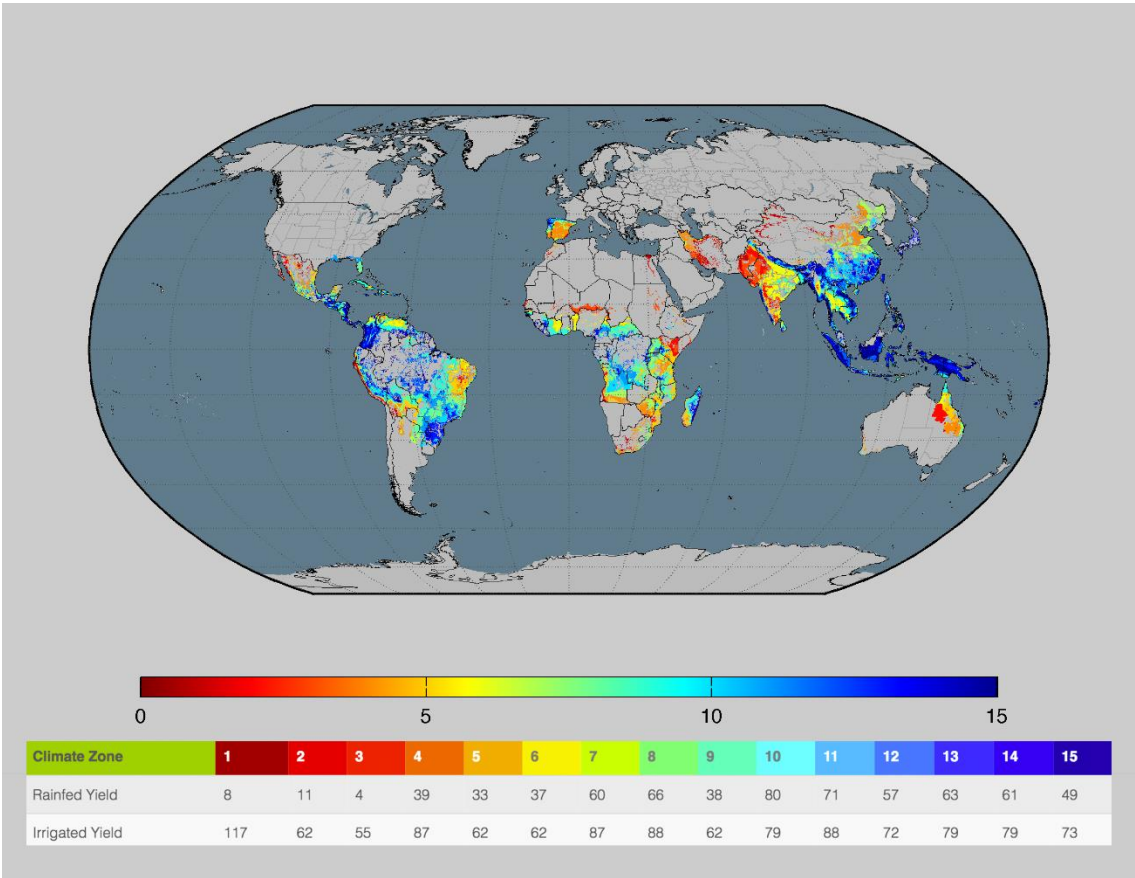
Fuente: Elaboración propia con base de datos de Ecoinvent 3.4.

En esta gráfica se evidencia que el mayor consumo de agua se lleva a cabo en el proceso de cultivo de caña de azúcar, estimando que el impacto ambiental asociado al agua se centra en el cultivo de caña de azúcar. El impacto ambiental se distribuye de la siguiente manera: 63.7% al uso de cal (fuente de calcio en los fertilizantes), 13.09% al uso de agua de pozo empleado para riego, 3.68% al uso de nitrógeno como agregado a los fertilizantes y el resto se distribuye en otras partes del proceso. Se puede aseverar que los proveedores incluidos dentro del modelo evaluado con respecto a los fertilizantes, para la obtención de la cal y el nitrógeno, demandan demasiada agua dentro de sus procesos, es decir que indirectamente hacen que aumente la huella de agua que genera la producción de energía eléctrica de la industria agro-azucarera. La suma de los dos componentes descritos anteriormente representa un estrés hídrico del 67.42% para el cultivo de caña de azúcar. También hay que tomar en cuenta que de forma directa, se atribuye un 13.09% del estrés hídrico generado al uso de agua de pozo proveniente de fincas y/o proveedores de caña.

Además, si se asegura que el mayor consumo de agua se lleva a cabo dentro de la etapa del cultivo de caña de azúcar (según las etapas previamente descritas), no quiere decir que no exista otra etapa dentro de la producción de energía eléctrica que genere mayor estrés hídrico. Es decir, pueden existir otras fases que generen un consumo elevado de agua en la cogeneración, debido a que en el software se condensan todas las etapas descritas para la cogeneración como un solo proceso (ver Gráfica 3, p.14). En particular se planteó un escenario con dos etapas para la producción de energía eléctrica, utilizando el modelo de Brasil: el cultivo de caña y la cogeneración de energía eléctrica (base de datos de Ecoinvent 3.4). Al considerar el análisis de ciclo de vida que va desde la producción de las materias primas hasta el producto final, se identifica lo descrito sobre el cultivo de caña de azúcar, que es la etapa que genera mayor impacto ambiental asociado al uso y/o consumo de agua (ver Gráfica 6). Esto sin tomar en cuenta que el combustible utilizado es el bagazo que queda como subproducto de la extracción del jugo de caña para la producción de azúcar.

Además, se asume que los sistemas de cogeneración de Guatemala se comportan de la misma manera como el modelo de cogeneración brasileño que se toma como base para este estudio. El sistema de producción de energía eléctrica de la industria agro-azucarera en ambos países tiene el mismo proceso, aunque suelen existir algunas diferencias, que por lo general se dan en la parte de operación y/o diseño, las cuales se consideran despreciables para este estudio. A su vez el cultivo y cosecha de la caña son similares por la zona climática en el sector agrícola de Brasil y Guatemala. En la Gráfica 7 se muestra el mapa de zonas climáticas presentado por BONSUCRO (2016), clasificadas en un intervalo de 0 a 15, por donde pueden observarse áreas similares entre Guatemala y Brasil, que se encuentran en un rango de 10 a 15.

Gráfica 7. Mapa de zona climáticas de BONSUCRO



Consultado en: http://www.bonsucro.com/wp-content/uploads/2017/01/ClimateZones_Sugar.png
 Fecha: 24 de septiembre del 2018.

5.4. Propuestas para la aplicación de Norma ISO 14046: 2014 a los sistemas de cogeneración en Guatemala

Algunas de las limitantes que tiene BONSUCRO es que algunos de sus lineamientos con respecto a la gestión del agua se basan en el cumplimiento de la legislación ambiental vigente en el país, en la cual se exigen únicamente planes de gestión ambiental (PGA) y estudios de impacto ambiental. No posee el mismo alcance que las normas extranjeras en las cuales, determinados clientes potenciales, exigen una certificación para la compra de los productos. Entre los temas con respecto al manejo de agua, la comunidad internacional toma específicamente la norma ISO 14046.

Lo que se busca para futuras investigaciones es una mejor recopilación de la información de los sistemas de cogeneración, así como el desarrollo de un inventario hídrico que se enfoque en el análisis de ciclo de vida con toda la cadena de suministros, asentado en el modelo de la base de datos de Ecoinvent 3.4, se parte de exigir toda la documentación necesaria a los proveedores de todos los insumos involucrados. En este caso, desde el cultivo de la caña de azúcar, ya que fue el área en donde se observó. Según el modelo de Brasil en el cultivo se concentra la mayor parte de impactos asociados al consumo de agua (estrés hídrico). Asimismo, se debe exigir a todos los proveedores de caña, mejores sistemas de riego en Guatemala y capacitaciones en cuanto a las buenas prácticas de riego en las fincas. Se sugiere que las fincas gestionen inversiones en este tema, para hacer más eficiente esta etapa. Según la literatura y expertos en el tema son más eficientes los sistemas de riego por aspersión debido a la uniformidad con la que se distribuye el agua dentro del área de cultivo.

A su vez se sugiere a los proveedores de insumos críticos (Cal, Fertilizantes, entre otros) para la industria agro-azucarera, mejores prácticas sostenibles dentro de sus procesos para un mejor manejo del uso y/o consumo de agua, para que la huella de agua no se vea afectada por otro elemento agregado a la etapa evaluada. En este caso de estudio, se identificó que el 63.74% del impacto asociado al estrés hídrico

dentro del proceso de cogeneración de la industria agro-azucarera, se ve afectado por el uso de cal. Por lo que se recomienda evaluar o realizar un estudio asociado con respecto a la huella de agua de la cal que permita identificar etapas u oportunidades de mejora para la optimización del recurso hídrico y así reducir impactos.

Es necesario generar estudios que recopilen la información de forma electrónica y que sean compatibles con distintos softwares de análisis de ciclo de vida, como, por ejemplo: OPEN LCA®, estudios de cuencas hidrográficas de Guatemala, elaborados por expertos en temas hidrográficos para que se puedan obtener resultados más apegados a la realidad, según la ubicación geográfica y la categoría de impacto en el estudio de la huella de agua basado en la disponibilidad de agua como AWARE, por ejemplo. Para este caso en particular, la zona de la región agro-azucarera. Los resultados ayudarán a obtener indicadores con información más acertada para evaluar la mejora con respecto a los temas de gestión del recurso hídrico, una vez con el cálculo de los indicadores que evalúan la ecotoxicidad y la disponibilidad de los recursos.

Además, es necesario darle importancia al uso indirecto del agua en toda la cadena de suministro, sobre todo en el cultivo de caña (aunque sea un punto complejo, se debe profundizar en ello).

No se debe olvidar que los datos presentados en conformidad con la norma, la cual cita: “Se deben documentar las suposiciones hechas en la recopilación, validación y análisis, agregación y realización del informe de los datos”. Los datos obtenidos no representan el total de la producción de energía eléctrica relacionada únicamente a la biomasa, específicamente la que proviene de bagazo de caña, ya que en la industria azucarera se utilizan otras fuentes, tales como el bunker, la madera, el carbón, y el biogás. Con base en la experiencia obtenida se comprueba que no existen registros que evidencien cuánto se produce realmente con bagazo de caña, durante la época de zafra en Guatemala. Se sugiere realizar un análisis cuantitativo de Montecarlo, (el cual es un método que provee aproximaciones para evaluar la exactitud de los datos) en los datos evaluados previamente. Debido a que los datos

fueron proporcionados de forma directa en reportes de producción y se tomaron de las bases de datos de Ecoinvent, no se aplicó el análisis sugerido.

Para próximas investigaciones en las cuales exista un mayor detalle, y se logre construir un inventario de ciclo de vida para los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera, se recomienda la estimación de impactos por su uso y consumo del agua, los cuales evalúan vías de impacto que difieren en múltiples detalles. Con base en la experiencia obtenida en los sistemas de cogeneración en Ingenio Magdalena, y al compartir con expertos en análisis de ciclo de vida, en conjunto con lo que establece la Norma: “El método o métodos de evaluación del impacto de la huella de agua deben considerar el impacto o los impactos ambientales potenciales debidos al cambio en la cantidad del agua y/o al cambio en la calidad de las aguas causados por el sistema bajo estudio” (INTECO, 2015)

Con base en lo anterior se percibe que los impactos más significativos por el uso y consumo de agua directo en los sistemas de cogeneración en Guatemala es la privación de agua a otros usuarios. Además, el potencial de eutrofización de los cuerpos receptores de agua por su uso degradativo, debido al retorno de esta al ecosistema.

Sin olvidar que es necesario tener en cuenta las tendencias actuales de impacto ambiental que sugieren los expertos que han realizado evaluaciones de huella de agua en América Latina, para el cumplimiento de marco metodológico de la ISO 14046:2014 las cuales pueden variar a través de los años, específicamente del momento en el cual se lleve a cabo el estudio en mención. De esta forma se puede dar valor(es) cuantitativo(s) que permitan una primera aproximación a los impactos ambientales asociados al agua para los sistemas de cogeneración con bagazo de caña.

6. Conclusiones

1. Los parámetros identificados en Ecoinvent representados en la Tabla 4 presentan una propuesta de datos para el inventario de la huella de agua para los sistemas de cogeneración en Guatemala.
2. Para los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera en Guatemala sí es viable aplicar la Norma ISO 14046, con un alcance limitado a ciertas fincas, ya que en la mayoría de las fincas proveedoras de caña no existe suficiente información que evidencie o recopile la información necesaria para la implementación inmediata de la Norma. Implementar este sistema de gestión ayudará a sistematizar la forma de llevar a cabo los mismos controles.
3. Por medio del software OPEN LCA® con el modelo de producción de energía eléctrica de Brasil de la industria agro-azucarera, se puede concluir que el impacto asociado al consumo de agua para la producción de electricidad se encuentra de forma indirecta en el cultivo de caña de azúcar. Esto se evidencia mediante la Gráfica 6, en donde se identifican 2 etapas indirectas: uso de cal 63.74% y uso nitrógeno 3.68%, utilizados en los fertilizantes. La etapa directa con respecto al uso de agua de pozo significa un 13.09% que corresponde al riego de la caña de azúcar. Por ello todos los esfuerzos de optimización y gestión del recurso hídrico se deben enfocar en la parte de cultivo.

7. Recomendaciones

1. El estudio realizado puede ser tomado como guía para replicar el análisis de huella de agua a más cadenas de suministro para el desarrollo de inventarios completos, basado en los fundamentos del análisis de ciclo de vida que propone la Norma ISO 14046:2014. Para los sistemas de cogeneración de la industria agro-azucarera el análisis se debe realizar en la cadena de suministro, enfocándose en los usos de cal, fertilizantes y fincas proveedoras de caña de azúcar. Además, se recomienda evaluar el periodo de no zafra y para los otros tipos de combustibles que son utilizados, tales como: Bunker, etanol, biogás y carbón mineral, con el fin de identificar los impactos de los procesos de producción de cada uno de los proveedores involucrados en el proceso o servicio evaluado. Se busca así enfocar los esfuerzos y propuestas de gestión ambiental para la reducción de impactos.
2. Una vez que se posea este tipo de inventarios con toda la cadena de suministro, se recomienda generar un levantamiento periódico de información para la evaluación del impacto ambiental asociado a los recursos hídricos de la industria agro-azucarera, y desarrollar un historial que cuantifique los impactos a través del tiempo para evaluar si los esfuerzos realizados en materia de gestión ambiental han sido satisfactorios.
3. Desde el sector privado, para la industria agro-azucarera se recomienda divulgar los resultados obtenidos a partir de los proveedores que hayan evaluado y verificado la huella de agua en sus procesos, para rectificar su compromiso de sostenibilidad y responsabilidad social empresarial. En un País como Guatemala esto permitirá la apertura al considerar el análisis de huella de agua conforme al marco metodológico que propone la Norma ISO 14046:2014, para la medición de los impactos asociados al agua a lo largo del ciclo de vida.

8. Referencias bibliográficas

- Asociación Española de Normalización y Regulación (AENOR). (2014). Calcular para mejorar su gestión, 26–31. Consultado en: <http://www.aenor.es/revista/pdf/sep14/26sep14.pdf>
- Berger, M., & Finkbeiner, M. (2010). Water footprinting: How to address water use in life cycle assessment? *Sustainability*, 2(4), 919–944. <https://doi.org/10.3390/su2040919>
- BONSUCRO, The global sugarcane platform. (2016). *Estándar de producción de BONSUCRO* (Vol. 4.2).
- Boulay, A. M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschênes, L., & Margni, M. (2011). Categorizing water for LCA inventory. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(7), 639–651. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0300-z>
- Cengel Yunus, A., & Boles, Mi. A. (2009). *Termodinámica. Séptima* (McGraw-Hil).
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). (2014). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. (M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinosa, Eds.). Escuintla, Guatemala: Artemis Edinter, S.A.
- Colom de Morán, E. & Morales de la Cruz, M. (2011). Política Nacional del Agua de Guatemala y su estrategia . Consultado en: http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (CNEE). (2017). Marco Legal. Consultado en: <http://www.cnee.gob.gt/wp/index.php>
- COSUDE-CADIS. (2016). Huella de Agua (ISO 14046:2014) en América Latina y el Caribe. Análisis y Recomendaciones para una Coherencia Regional, (ISO 14046), 77.

- Cristobal, S., & Olivera, A. (2014). Evaluar la huella hídrica, 6, 68–73. Consultado en: <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC-Gestion/article/view/281>
- Flury, K., Frischknecht, R., Jungbluth, N., & Muñoz, I. (2013). Recommendation for life cycle inventory analysis for water use and consumption.
- Fundación de Chile. (FCH). (2016). *Manual de aplicación para evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046*. Santiago de Chile. <https://doi.org/|q>
- Garrido, S. G. (n.d.). Condensador. Consultado en: <http://www.cicloaguavapor.com/condensador>
- Henry, P., & Gramajo, J. (2016). Congreso suma 27 iniciativas para regular uso del agua. *Prensa Libre*. Consultado en: <http://www.prensalibre.com/guatemala/politica/congreso-suma-27-iniciativas-para-regular-uso-del-agua>
- Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66, 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>
- INCYT. (2016). Análisis de Huella de Agua (Norma ISO 14046) y su Aplicación como Herramienta de Gestión Ambiental a la Matriz de Energía Eléctrica en Guatemala.
- INCYTDE-URL(Instituto de Ciencia y Tecnología para el desarrollo). (2015). *Perfil energético de Guatemala*. Guatemala: Editorial Cara Parens de la Universidad Rafael Landivar.
- INTECO. (2015). INTE ISO 14046:2015. Gestión Ambiental. Huella de Agua. Principios Requisitos y directrices., 1.
- ISO, ISO 14046. (2016). Gestión Ambiental. Huella de Agua. Principios Requisitos y directrices.
- Kounina, A., Margni, M., Bayart, J.-B., Boulay, A.-M., Berger, M., Bulle, C., ...

- Humbert, S. (2012). Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 707–721. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0519-3>
- Mario, M. (2015). Mario Muñoz. *Guía Para Determinar y Reducir Pérdidas de Energía En Generadores de Vapor*.
- Pfister, S., & Hellweg, S. (2009). The water “shoesize” vs. footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(35), E93–E94. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908069106>
- Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA Environ. *Sci Technol*, 43. <https://doi.org/40984104>
- Water footprint Network (WFN). (2002). Manual de Evaluacion. Consultado en: <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
- World Rainforest Movement (W. R. M.). (2009). Guatemala: los amargos impactos de la caña de azúcar. Consultado en: <https://wrm.org.uy/fr/les-articles-du-bulletin-wrm/section1/guatemala-los-amargos-impactos-de-la-cana-de-azucar/>

9. Anexos

A. Anexo 1. Entrevistas

I. Entrevista Jefe de Gestión Ambiental y Sostenibilidad en Ingenio Magdalena, S.A.

1. Según BONSUCRO, en la Guía para el estándar de producción, en el tema que habla sobre el agua, se enfoca en el clima de la zona climática, en función del área de cultivo, mencionado que debe existir un rendimiento de caña producida por hectárea.
 - 1.1. ¿Existen registros oficiales? En caso de que existen, más o menos de que fecha se posee un histórico de la información.
¿El alcance de la certificación BONSUCRO, solo aplica a las fincas que son propiedad del Ingenio?
2. Sí, existen registros que evidencien el consumo de agua por las fincas proveedores de caña de azúcar a los Ingenios en Guatemala. ¿Los registros evidencian la trazabilidad del origen del agua que es consumida por región? Eje: Agua de Rio X, La Democracia, Escuintla. Agua de Pozo X.
3. Con base en mis experiencias en el área industrial existen puntos en los que se cuantifican los caudales de agua, pero no en su totalidad. ¿Cómo han afectado estos temas, en cuanto a la sostenibilidad ambiental?
 - 3.1. ¿Qué acciones se han implementado?, con base en su experiencia laboral en los Ingenios de Guatemala.
¿Se han evaluado de una forma cuantitativa los impactos asociados a los recursos hídricos?
 - 3.2. ¿Existen evidencias de lo anterior?
4. En el área Agrícola.
 - 4.1. ¿Se han evaluado de una forma cuantitativa los impactos asociados a los recursos hídricos?
 - 4.2. ¿Existen evidencia de lo anterior?
 - 4.3. ¿Qué debilidades se identifican para el seguimiento para los usos tanto directos como indirectos asociados a los recursos hídricos?
 - 4.4. ¿Ha existido la necesidad de compensar la falta de lluvia?, De ser así, ¿Cuál es el suministro de agua que se utiliza?
5. Existen evaluaciones históricas que identifiquen, la mejora con respecto a los impactos ambientales asociados a los recursos hídricos.

II. Entrevista Coordinador de producción de cogeneración en Ingenio Magdalena, S.A.

1. ¿Cuál considera que es la etapa del proceso del sistema de cogeneración que requiere mayor uso de agua? ¿Por qué?
2. ¿Cuáles son las principales pérdidas de agua, que se consideran dentro del sistema de cogeneración?
 - 2.1. ¿Con base en su experiencia cómo se ve afectada la calidad del agua dentro del sistema?
 - 2.2. ¿Cómo es el retorno del agua empleada dentro del sistema de cogeneración a los cuerpos de agua?
 - 2.3. ¿Cuál es la temperatura de salida a los cuerpos de agua?
3. ¿Cuál es el tratamiento químico que recibe el agua antes de ingresar a la caldera?
 - 3.1. ¿Qué químicos que se emplean para mencionado tratamiento?
4. ¿De qué forma considera que las mejoras realizadas, actualmente, al sistema de cogeneración ha contribuido al manejo eficiencia del uso de agua?

III. Entrevista a Gestor de calidad de Campo de Ingenio Magdalena, S.A.

1. ¿Con base en su experiencia, cuál ha sido el consumo de agua promedio anual, empleado para la preparación del suelo? Una estimación.
2. ¿Se utilizan algún tipo de químico para la preparación del suelo?
 - 2.1. Dentro de los compuestos químicos, ¿Cuáles considera desde su experiencia, que son los que generan mayor impacto ambiental, específicamente al agua o a los recursos hídricos (cuencas)?
3. ¿Posee una estimación del periodo de lluvias anual?
4. ¿Cuáles son las pérdidas de agua que se obtienen en los sistemas de distribución de agua? En los campos.
5. ¿Cómo se preparan los planes de riego en el sistema de riego para el cultivo de caña de azúcar?
6. De los sistemas de riego empleados en Guatemala ¿cuál considera que es más eficiente? y ¿Por qué?
 - 6.1. ¿Cuáles son las pérdidas de agua anuales en los sistemas de riego?

IV. Entrevista a Coordinador de herbicidas y fertilizantes de Ingenio Magdalena, S.A.

1. ¿Cuáles son los tipos de fertilizantes y pesticidas mayormente empleados?

Dentro de los componentes de los fertilizantes y pesticidas, ¿Cuáles considera desde su experiencia, que son los que generan mayor impacto ambiental, específicamente al agua o a los recursos hídricos?

1.1. ¿Con base en su experiencia, cuál ha sido el consumo de agua empleado para la irrigación con agua extraída? Una estimación

B. Anexo 2: Glosario

Todos los conceptos que se presentan a continuación fueron tomados de Tecnológico de Costa Rica (TEC, 2015):

Agua dulce: Agua que contiene una concentración baja de sólidos disueltos (Menos de 1000 mg/L) sólidos disueltos.

Agua Superficial: Agua sobre el suelo que fluye y se almacena, tales como ríos y lagos, excluyendo el agua de amar.

Agua de mar: Agua en el mar o el océano.

Agua Subterránea: Agua que está contenida en una formación subterránea y que puede recuperarse.

Cuerpo de agua: Entidad de agua con características hidrológicas, hidrogeomorfológicas, físicas, químicas y biológicas definidas en un área geográfica dada.

Cuenca hidrográfica: área desde la cual las escorrentías de agua procedentes de precipitaciones dan por gravedad una corriente u otro cuerpo de agua.

Degradación del agua: Cambios negativos en la calidad del agua.

Extracción del agua: Remoción antropogénica del agua de cualquier cuerpo de agua o de cualquier cuenca hidrográfica, ya sea de forma permanente o temporal.

Flujo elemental del agua: Agua que entra al sistema bajo estudio, que ha sido extraída del medio ambiente; o agua que sale del sistema bajo estudio que es liberada al medio ambiente.

Límite del sistema: Conjunto de criterios que especifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto o de las actividades de una organización.

Métrica: Hace énfasis en las categorías de impacto a las cuales se evalúa la huella de agua.

Tecnósfera: Conjunto de medios artificiales que soportan el desarrollo de la sociedad humana y que evoluciona hacia una analogía de la biosfera en la que interactúa.

C. Anexo 3. Inventarios para el análisis de ciclo de vida documentados en Ecoinvent 3.4.

1. Producción de energía eléctrica de la Industria agro-azucarera de Brasil



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - BR

Dataset identification

Activity name	cane sugar production with ethanol by-product
geography	BR (Brazil)
Time period	1994-01-01 to 2017-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	1072: Manufacture of sugar
Reference product	electricity, high voltage
CPC classification	17100: Electrical energy
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.4 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, e.g. through the ecoinvent website.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Edgard Gnansounou, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
Data entry	Edgard Gnansounou, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
Review	Niels Jungbluth, ESU-services

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
electricity, high voltage	allocatable product	1 kWh
Inputs from technosphere		Amount
ammonia, liquid		2.38e-08 kg
ammonium sulfate, as N		0.000131 kg
chemical, inorganic		0.000171 kg
chemical, organic		0.000138 kg
chlorine, gaseous		9.53e-07 kg
coke		0.00322 MJ
ethanol fermentation plant		6.23e-12 unit
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, building		7.01e-10 unit
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, common components for heat+electricity		2.81e-09 unit
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, components for electricity only		2.81e-09 unit
lime		0.0389 kg
lubricating oil		3.15e-05 kg
nitrogen fertiliser, as N		0.000196 kg
soda ash, light, crystalline, heptahydrate		0.000443 kg
sodium chloride, powder		1.19e-05 kg
sugar refinery		2.01e-11 unit
sugarcane		1.65 kg
sulfur dioxide, liquid		0.000617 kg
sulfuric acid		0.000912 kg
tap water		1.77 kg



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - BR

Inputs from technosphere	Amount
water, decarbonised, at user	0.00229 kg
Inputs from technosphere, recyclable materials*	Amount
vinasse, from fermentation of sugarcane molasses	-0.154 kg
Inputs from technosphere, wastes**	Amount
municipal solid waste	-9.53e-08 kg
waste mineral oil	-9.53e-08 kg
wastewater, average	-2.29e-06 m3
wood ash mixture, pure	-0.00154 kg
Inputs from environment	Amount
Carbon dioxide, in air	0.042 kg
Emissions to air	Amount
Acetaldehyde	1.77e-07 kg
Ammonia	5.06e-08 kg
Arsenic	2.91e-09 kg
Benzene	2.37e-08 kg
Benzene, ethyl-	7.82e-08 kg
Benzene, hexachloro-	1.88e-14 kg
Benzo(a)pyrene	1.3e-09 kg
Bromine	1.74e-07 kg
Cadmium	2.03e-09 kg
Calcium	1.7e-05 kg
Carbon dioxide, fossil	0.000171 kg
Carbon dioxide, non-fossil	0.399 kg
Carbon monoxide, non-fossil	1.82e-05 kg
Chlorine	5.23e-07 kg
Chromium	1.15e-08 kg
Chromium VI	1.16e-10 kg
Copper	6.4e-08 kg
Dinitrogen monoxide	6.69e-06 kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	8.08e-14 kg
Fluorine	1.45e-07 kg
Formaldehyde	3.39e-07 kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	2.37e-08 kg
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	8.08e-08 kg
Lead	7.24e-08 kg
Magnesium	1.05e-08 kg
Manganese	4.97e-07 kg
Mercury	8.72e-10 kg
Methane, non-fossil	1.13e-08 kg
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	1.59e-08 kg
Nickel	1.74e-08 kg
Nitrogen oxides	0.000258 kg
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	2.87e-08 kg
Particulates, < 2.5 um	0.000117 kg
Phenol, pentachloro-	2.11e-11 kg
Phosphorus	8.72e-07 kg
Potassium	6.8e-05 kg
Sodium	3.78e-08 kg
Sulfur dioxide	7.24e-08 kg

page 2

Fuente: Ecoinvent 3.4, (2017)



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - BR

Emissions to air	Amount
Toluene	7.82e-07 kg
Water	1.46e-06 m3
Zinc	8.72e-07 kg
m-Xylene	3.13e-07 kg
Emissions to water	Amount
Water	0.00177 m3

²A negative input indicates a by-product output of recyclable material.
⁴A negative input indicates a by-product output of waste.

Dataset description

[Back to table of content](#)

General comments

Inventory refers to the production of 1 kg sugar, respectively 1 kg of ethanol (95% w/w dry basis, i.e. 1.05 kg hydrated ethanol 95% wet basis), 1 kg of excess bagasse (wet basis, 79% dry matter), 1 kWh of electricity and 1 kg of vinasse. The multioutput-process "sugarcane, in sugar refinery" delivers the co-products "sugar, from sugarcane, at sugar refinery" and "ethanol, 95% in H2O, from sugarcane molasses, at sugar refinery", "bagasse, from sugarcane, at sugar refinery", "electricity, bagasse, sugarcane, at sugar refinery" and "vinasse, from sugarcane molasses, at sugar refinery". Economic allocation with allocation factor for common sugar production stages of 80-85% to sugar, 10-11% to ethanol. Allocation according to carbon balance for CO2.

This dataset was already contained in the ecoinvent database version 2. It was not individually updated during the transfer to ecoinvent version 3. Life Cycle Impact Assessment results may still have changed, as they are affected by changes in the supply chain, i.e. in other datasets. This dataset was generated following the ecoinvent quality guidelines for version 2. It may have been subject to central changes described in the [ecoinvent version 3 change report](#), and the results of the central updates were reviewed extensively. The changes added e.g. consistent water flows and other information throughout the database. The documentation of this dataset can be found in the ecoinvent reports of version 2, which are still available via the ecoinvent website. The change report linked above covers all central changes that were made during the conversion process. The original ecoinvent version 2 documentation can be consulted [here](#).

Included activities start

No data.

Included activities ends

This dataset includes the transport of sugarcane to the sugar refinery and the processing of sugarcane to sugar, ethanol (95% w/w), bagasse (79% dry matter, excess), excess electricity and vinasse from ethanol production. System boundary is at the sugar refinery. Treatment of waste effluents is not included (most wastewater is spread over the fields nearby). Packaging is not included.

Sampling procedure

Data is from various sugar and ethanol producers in Brazil (incl. literature data) and from sugar producer in CH.

Extrapolations

Direct emissions (resulting from the combustion of sugarcane bagasse) are based on the the combustion of wood chips (without emission control), according to the corresponding dry matter content, carbon content and energy content.

Technology comments

Juice extraction is performed through milling (not diffusion). The juice is then purified and crystallized to sugar according to standard processes. Ethanol is produced by standard fermentation and distillation techniques. Energy supply is done by combustion of the bagasse resulting from the extraction stage. The two main products are sugar and ethanol.

Geography comments

Data is from various sugar and ethanol producers in Brazil; some data is adapted from sugar producer in CH.

Time period comments

Data from 1994 to 2006, current technology for the production of ethanol from sugarcane.

2. Producción de caña de azúcar en Brasil.



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - GLO

Dataset identification

Activity name	cane sugar production with ethanol by-product
geography	GLO (Global)
Time period	1994-01-01 to 2006-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	1072: Manufacture of sugar
Reference product	sugar, from sugarcane
CPC classification	23511: Cane sugar
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.4 - Undefined

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Sources](#)

Notes: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, e.g. through the ecoinvent website. Amount and identity of the exchanges in an undefined dataset are independent of modeling choices in by the different system models. Linked dataset are available in separate documents.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Edgard Gnansounou, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
Data entry	Edgard Gnansounou, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
Review	Niels Jungbluth, ESU-services

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference products	Material for treatment	Byproduct classif.	Amount
sugar, from sugarcane	no	allocatable product	1 kg
By-products	Material for treatment	Byproduct classif.	Amount
bagasse, from sugarcane	yes	allocatable product	0.156 kg
electricity, high voltage	no	allocatable product	0.248 kWh
ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation	no	allocatable product	0.0739 kg
municipal solid waste	yes	Waste	4.74e-05 kg
vinasse, from fermentation of sugarcane molasses	yes	Recyclable	0.767 kg
waste mineral oil	yes	Waste	4.74e-05 kg
wastewater, average	yes	Waste	1.14e-05 m3
wood ash mixture, pure	yes	Waste	0.00765 kg
Inputs from technosphere			Amount
ammonia, liquid			1.19e-07 kg
ammonium sulfate, as N			0.000651 kg
chemical, inorganic			0.000852 kg
chemical, organic			0.000675 kg
chlorine, gaseous			4.74e-06 kg
coke			0.016 MJ
ethanol fermentation plant			3.1e-11 unit

page 1

Fuente: Ecoinvent 3.4, (2017)



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - GLO

Inputs from technosphere	Amount
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, building	3.48e-09 unit
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, common components for heat+electricity	1.39e-08 unit
heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, components for electricity only	1.39e-08 unit
lime	0.193 kg
lubricating oil	0.000157 kg
nitrogen fertiliser, as N	0.000976 kg
soda ash, light, crystalline, heptahydrate	0.0022 kg
sodium chloride, powder	5.93e-05 kg
sugar refinery	1e-10 unit
sugarcane	8.18 kg
sulfur dioxide, liquid	0.00307 kg
sulfuric acid	0.00454 kg
tap water	8.78 kg
water, decarbonised, at user	0.0114 kg
Inputs from environment	Amount
Carbon dioxide, in air	0.209 kg
Emissions to air	Amount
Acetaldehyde	8.82e-07 kg
Ammonia	2.51e-05 kg
Arsenic	1.45e-08 kg
Benzene	1.18e-05 kg
Benzene, ethyl-	3.89e-07 kg
Benzene, hexachloro-	9.33e-14 kg
Benzo(a)pyrene	6.48e-09 kg
Bromine	8.67e-07 kg
Cadmium	1.01e-08 kg
Calcium	8.45e-05 kg
Carbon dioxide, fossil	0.000852 kg
Carbon dioxide, non-fossil	1.98 kg
Carbon monoxide, non-fossil	9.07e-05 kg
Chlorine	2.6e-08 kg
Chromium	5.72e-08 kg
Chromium VI	5.78e-10 kg
Copper	3.18e-07 kg
Dinitrogen monoxide	3.32e-05 kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	4.02e-13 kg
Fluorine	7.23e-07 kg
Formaldehyde	1.68e-08 kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	1.18e-05 kg
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	4.02e-05 kg
Lead	3.6e-07 kg
Magnesium	5.22e-08 kg
Manganese	2.47e-08 kg
Mercury	4.34e-09 kg
Methane, non-fossil	5.62e-06 kg
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	7.91e-08 kg
Nickel	8.67e-08 kg
Nitrogen oxides	0.00127 kg



Ecoinvent 3.4 dataset documentation

cane sugar production with ethanol by-product - GLO

Emissions to air	Amount
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1.43e-07 kg
Particulates, < 2.5 um	0.000582 kg
Phenol, pentachloro-	1.05e-10 kg
Phosphorus	4.34e-08 kg
Potassium	0.000338 kg
Sodium	1.88e-05 kg
Sulfur dioxide	3.6e-05 kg
Toluene	3.89e-08 kg
Water	7.28e-08 m3
Zinc	4.34e-08 kg
m-Xylene	1.56e-08 kg
Emissions to water	Amount
Water	0.00878 m3

Dataset description

[Back to table of content](#)

General comments

Inventory refers to the production of 1 kg sugar, respectively 1 kg of ethanol (95% w/w dry basis, i.e. 1.05 kg hydrated ethanol 95% wet basis), 1 kg of excess bagasse (wet basis, 79% dry matter), 1 kWh of electricity and 1 kg of vinasse. The multioutput-process "sugarcane, in sugar refinery" delivers the co-products "sugar, from sugarcane, at sugar refinery" and "ethanol, 95% in H2O, from sugarcane molasses, at sugar refinery", "bagasse, from sugarcane, at sugar refinery", "electricity, bagasse, sugarcane, at sugar refinery" and "vinasse, from sugarcane molasses, at sugar refinery". Economic allocation with allocation factor for common sugar production stages of 80-85% to sugar, 10-11% to ethanol. Allocation according to carbon balance for CO2.

This dataset was already contained in the ecoinvent database version 2. It was not individually updated during the transfer to ecoinvent version 3. Life Cycle Impact Assessment results may still have changed, as they are affected by changes in the supply chain, i.e. in other datasets. This dataset was generated following the ecoinvent quality guidelines for version 2. It may have been subject to central changes described in the [ecoinvent version 3 change report](#), and the results of the central updates were reviewed extensively. The changes added e.g. consistent water flows and other information throughout the database. The documentation of this dataset can be found in the ecoinvent reports of version 2, which are still available via the ecoinvent website. The change report linked above covers all central changes that were made during the conversion process. The original ecoinvent version 2 documentation can be consulted [here](#).

Included activities start

No data.

Included activities ends

This dataset includes the transport of sugarcane to the sugar refinery and the processing of sugarcane to sugar, ethanol (95% w/w), bagasse (79% dry matter, excess), excess electricity and vinasse from ethanol production. System boundary is at the sugar refinery. Treatment of waste effluents is not included (most wastewater is spread over the fields nearby). Packaging is not included.

Sampling procedure

Data is from various sugar and ethanol producers in Brazil (incl. literature data) and from sugar producer in CH.

Extrapolations

Direct emissions (resulting from the combustion of sugarcane bagasse) are based on the the combustion of wood chips (without emission control), according to the corresponding dry matter content, carbon content and energy content. This dataset has been copied from an original dataset covering the geography BR. The uncertainty has been adjusted accordingly.

Technology comments

Juice extraction is performed through milling (not diffusion). The juice is then purified and crystallized to sugar according to standard processes. Ethanol is produced by standard fermentation and distillation techniques. Energy supply is done by combustion of the bagasse resulting from the extraction stage. The two main products are sugar and ethanol.

D. Anexo 4. Cálculos para el desarrollo del inventario.

Insumos del ambiente (Entradas)				
Descripción	Cantidad	Unidad	Fuente	Observación
Agua de río	8,000	gpm	Departamento de mollienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	
Molienda	10000	gpm		
Cogeneración, Agua de lavado (separadores de ollín)	6000	gpm		
Agua para generación de energía eléctrica	10000	gpm	Departamento de cogeneración Ingenio Magdalena, 2016-2017.	
Agua de pozo				
Mantenimiento	2500	gpm	Departamento de cogeneración Ingenio Magdalena, 2016-2017.	

Agua de Imbibición	N/A	N/A	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Se toma el 25% del agua de proceso (Agua de Molienda y Cogeneración (Producción de energía eléctrica y lavado de separadores de ollín)
Agua de caña de azúcar	3,290,611.9	TM	Departamento de molienda Ingenio Magdalena, 2016-2017.	Ver la Ecuación 2
Fertilizantes				
Urea (Nordic®)	0.8	kg de Nitrógeno/ton caña	Departamento de Cosecha y Campo IMSA, 2016-2017.	
Sulfato de Amonio	0.15	kg de Fosforo/ton caña		
Nitrato de Amonio	0.15	kg de Fosforo/ ton caña		
Cloruro de Potasio (MOP 0060)	0.35	kg de Potasio/ ton caña		
Agroquímicos (ametrica, atracina, terbutrina, diurón)	0.85	kilolitro/mes		

Para el cálculo mostrado en la Ecuación 2 se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cantidad de jugo de caña es el 70% del ingreso de caña de azúcar al Ingenio, el restante es bagazo.
- En el proceso de evaporación, en el área de molienda, se lleva el jugo de caña de una concentración de 15 Brix a 65 Brix, por medio de una evaporación.

Ecuación 2. Balance de masa para agua de caña de azúcar.

$$1. \text{Jugo de caña} - x = y$$

$$2. 0.15 \text{Jugo} = 0.65y$$

Donde , $x = H_2O$, $y = \text{Jugo de caña a } 65^\circ \text{Brix}$

$$(6,111,136.4 \text{ TM} \times 0.7) \times 0.15 = 0.65y$$

$$y = 987,183.57 \text{ TM}$$

Sustituyendo 2 en 1.

$$4,277,795.48 - 987,183.57 = x$$

$$x = 3,290,611.9$$

Fuente: *Elaboración propia.*

E. Anexo 5. Fotografías visita a sistemas de cogeneración en Guatemala.



Imagen No. 1. Preparación de tierra cultivo caña
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 2. Repartición de semilla de caña
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 3. Cultivo de semilla de caña
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 4. Cultivo de semilla de caña
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 5. Semilla de caña en campo
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 6. Crecimiento de semilla.
Fotografía: Elaboración propia.

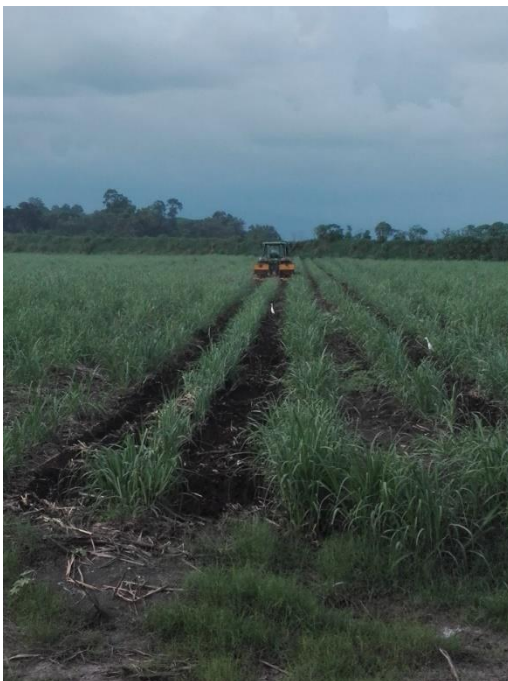


Imagen No. 7. Arado de tierra en campos de cultivo de caña
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 8. Campos de Cultivo de caña
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 9. Maquinaria agrícola
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 10. Compuerta para obtención de agua de río
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 11. Área de ingreso de caña de azúcar
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 12. Área de molinos
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 13. Soldadura de molino
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 14. Anillos de molino
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 14. Bandas transportadoras de bagazo de caña hacia caldera
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 15. Área de reserva de bagazo de caña
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 16. Bandas transportadoras de bagazo hacia calderas
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 17. Tratamiento de agua de caldera por osmosis inversa
Fotografía: Elaboración propia



Imagen No. 18. Pozo de agua para caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 19. Área de bombas de alimentación de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 20. Caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 21. Horno de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 22. Visor de horno de caldera.
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 23. Economizador de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 23. Condensador de la caldera
Fotografía: Elaboración propia.

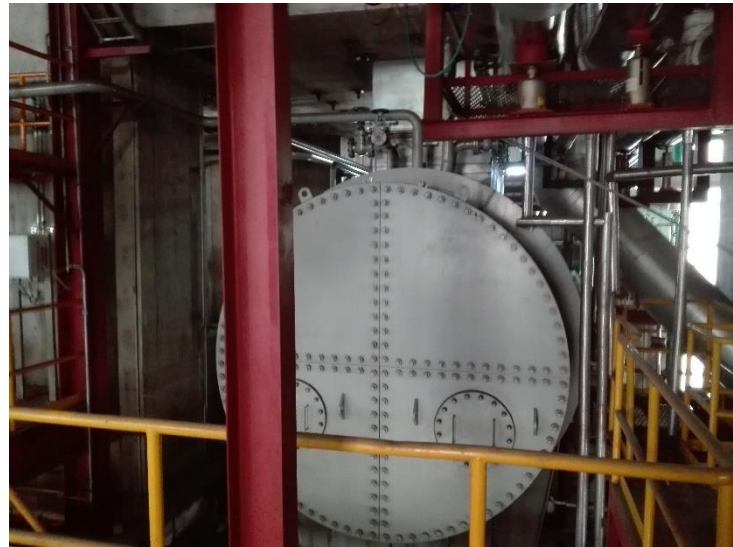


Imagen No. 24. Intercambiador de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 25. Turbina condensing.
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 26. Red de distribución de energía
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 27. Chimenea de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 28. Sistema de distribución de aceite para turbina
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 29. Sistema de purga de caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 30. Transporte de carbón hacia caldera
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 31. Bodega de Carbón
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 32. Área de Almacenaje de bagacillo
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 33. Tanques de bunker
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 34. Piletas de vinaza con estiércol para biogás
Fotografía por: Eduardo Sanabria.



Imagen No. 35. Muestreo de vinaza tratada para biogás
Fotografía: Elaboración propia.



Imagen No. 36. Biodigestor
Fotografía: Elaboración propia.

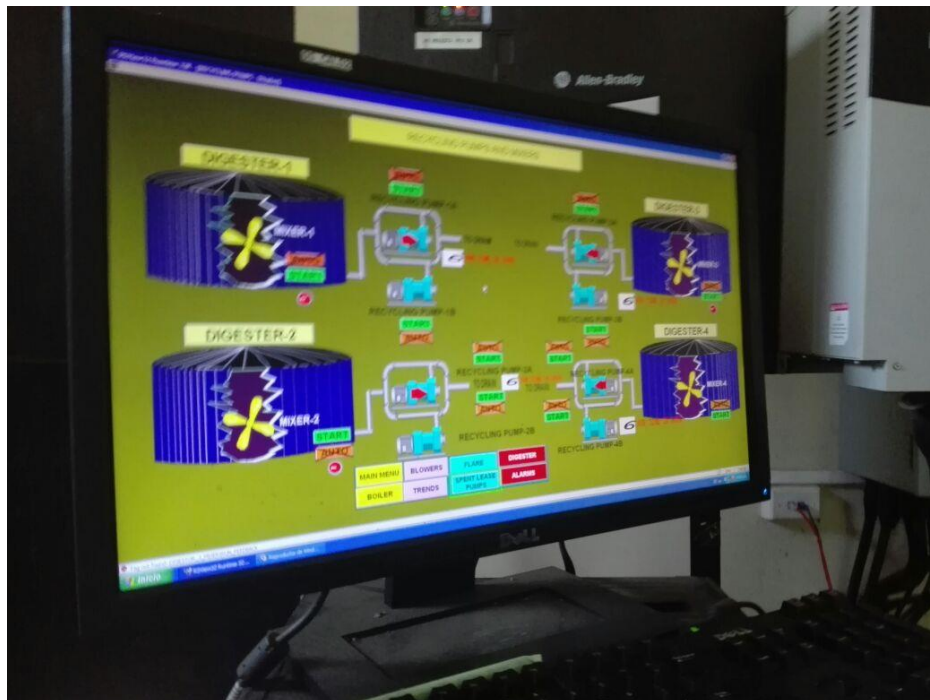
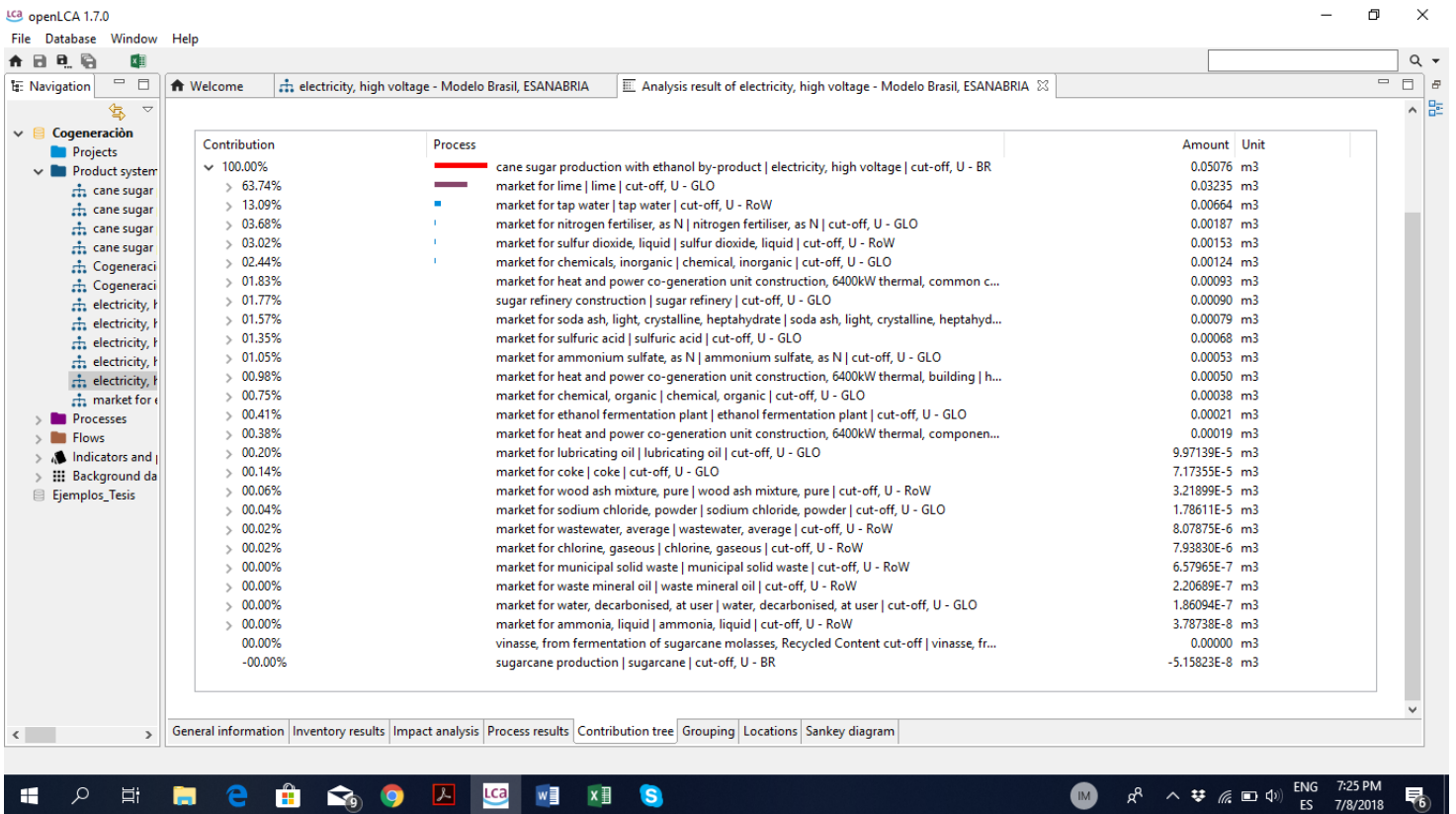


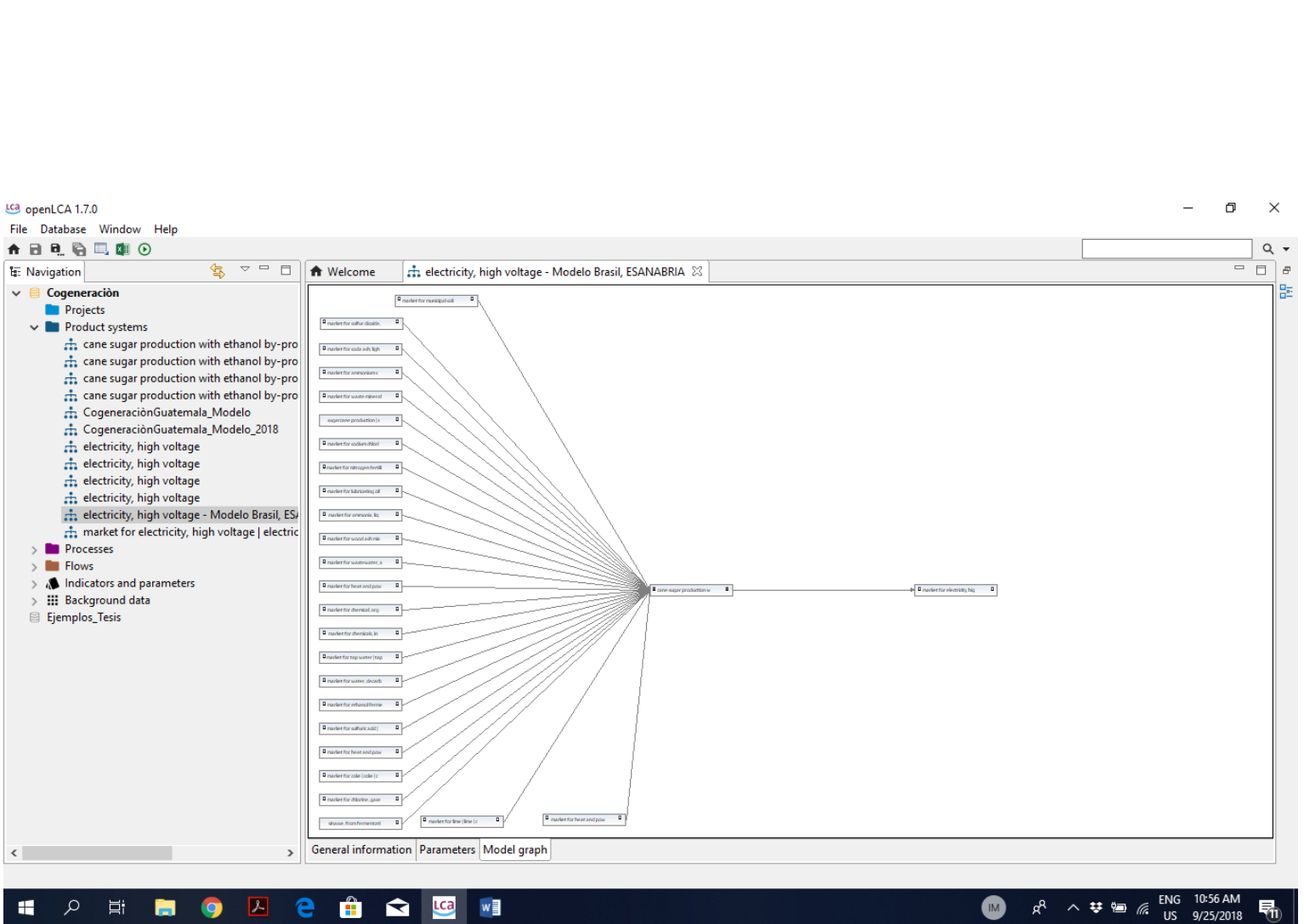
Imagen No. 37. Diagrama de biodigestores en cuarto de control
Fotografía: Elaboración propia.

F. Anexo 6. Gráfico de barras presentado en el software de OPEN LCA®.



Fuente: Elaboración propia basado en base de datos de Ecoinvent 3.4 del modelo de cogeneración brasileño.

G. Anexo 7. Diagrama de modelo de producción de energía eléctrica de Brasil presentado en el software de OPEN LCA®.



Fuente: Elaboración propia basado en base de datos de Ecoinvent 3.4 del modelo de cogeneración brasileño.