

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



HUELLA DE CARBONO E HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL DE TIJUANA

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

Ing. En Energías Renovables Paulina Perea Eguía

Director: Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki

Co-director: Dr. Emilio Hernández Martínez

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, OCTUBRE 2021

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Folio No. 318

Tijuana, B.C., a 28 de septiembre del 2021

C. Paulina Perea Eguía
Pasante de: Maestría en Ciencias
Presente.-

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción: TESIS

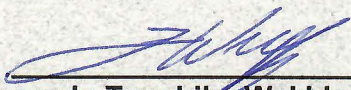
Es propuesto, por los C. Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki y
Dr. Emilio Hernández Martínez.

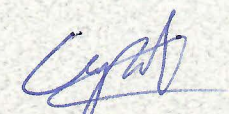
Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,
referido al tema: "Huella de carbono e hídrica de la producción de cerveza
artesanal de Tijuana", el cual deberá usted desarrollar,
de acuerdo con el siguiente orden:

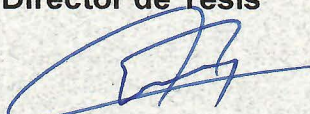
- I. Introducción.
- II. Marco Teórico.
- III. Metodología.
- IV. Resultados y discusión.
- V. Conclusiones.
- VI. Referencias.



FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA
CAMPUS TIJUANA


Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Director de Tesis


Dra. Ana Alejandra Ramírez Rodríguez
Sub-Directora


Dr. Emilio Hernández Martínez
Co-director de Tesis


M.C. Roberto Alejandro Reyes Martínez
Director Provisional

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado durante estos dos años de maestría para el desarrollo de esta investigación.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California por ser mi alma mater, pues me permitió formarme en ella, brindándome apoyo tanto en licenciatura como en posgrado para poder así lograr mis metas. A los docentes de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería por compartir sus conocimientos a lo largo de este posgrado en especial al Dr. Emanuel Quiñonez y al Dr. Miguel A. Pastrana por su guía en esta investigación. A los docentes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, en especial al Dr. Rene Delgado, Dr. Bernabé Rodríguez y al Dr. Daniel Tapia cuyas enseñanzas y consejos fueron cruciales para mi desarrollo profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo y hoy en día amistad.

Expreso un profundo agradecimiento a mi director de tesis Dr. Fernando Wakida, por brindarme el apoyo desde el primer acercamiento que tuve con él, por el interés que mostro en esta investigación, la paciencia, instrucción, dedicación y valiosos aportes constructivos tanto académicos como de superación durante esta etapa de mi vida.

El más ameno agradecimiento al Dr. Emilio Hernández por todo el apoyo brindado a nivel personal durante mi etapa profesional, siendo hasta la fecha un gran colega y amigo, cuya amistad espero sea perdurable.

Agradezco a la familia que he formado en estos últimos años por ser un gran apoyo emocional, fungiendo como tío, madres y padre, que el esfuerzo que he puesto en este trabajo sea un orgullo para ustedes.

A mi familia agradezco las carencias y limitantes que pasamos pues formaron en mí una inmensa voluntad de superación personal y resiliencia.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposo por el amor eterno que nos tenemos, por la paciencia, el cariño y los consejos. Que el apoyo incondicional que nos brindamos funja como lo ha hecho para que cumplamos nuestros sueños y metas, que nuestra familia siga creciendo y que quede asentado como documento oficial el viaje que tanto hemos planeado. Te amo.

A mi perro Nico por ser hermoso, acompañarnos a correr a la playa, explayar toda su felicidad a donde quiera que vayamos la cual alimenta mi vida.

Dedico el estado del arte a la cerveza, gracias a ella esta investigación fue amena, no solo por beberla sino el saber el contexto histórico que tiene una de las bebidas más longevas de la humanidad, la cual tiene la virtud de reunir amigos, familia y colegas alrededor del mundo.

"La intención de todo cervecero, es la extracción de la parte fermentable de la malta, la adición de lúpulo en proporciones que la experiencia le dictamina, preservando y amargando la cerveza, añadiendo únicamente la levadura necesaria para obtener una fermentación completa. La levadura es a la vez las flores y las lías de un mosto fermentado"

(Combrune, 1804).

RESUMEN

En el presente trabajo se cuantificó la huella hídrica y de carbono generada por las cervecerías artesanales de la ciudad de Tijuana, Baja California, con el propósito de proponer medidas operacionales para la reducción de sus impactos ambientales.

La cuantificación de las emisiones de gases de invernadero se llevó a cabo mediante el uso de la metodología PAS 2050, la cual cuantifica las emisiones durante el ciclo de vida de un producto. Para el cálculo de la emisión generada por la producción de un hectolitro de cerveza se consideraron dos etapas. En la primera etapa del análisis de ciclo vida se consideraron las emisiones debido a la producción y transporte de las materias primas. En la segunda, las provenientes de la producción, residuos y finalmente el transporte de producto, tomando en cuenta el consumo de energía eléctrica y de gas LP en los procesos de esterilización, bombeo, refrigeración, molienda de grano, pasteurización, calentamiento de agua para la maceración, lavado de los granos y hervor del mosto, y procesos de fermentación y carbonatación.

Los resultados obtenidos arrojaron que la cantidad de dióxido de carbono equivalente por hectolitro de cerveza producida fue de 149.22 kg de GEI (gases efecto invernadero) cuando los insumos son adquiridos de las marcas ubicadas más cercanas geográficamente a los productores de cerveza y un máximo de 897.95 kg de GEI cuando su ubicación es más lejana. Los procesos que generaron el mayor porcentaje de GEI de manera indirecta fueron el transporte de materia prima con intervalos de 6.7 a 87.3 kg de GEI/hl y la producción de la materia prima con intervalos de 10.6 a 22.47 kg de GEI/hl, respectivamente; cabe señalar que se observó un incremento considerable para los casos de cervecerías que utilizaban envases desechables con emisiones de hasta 82.35 kg de GEI/hl. Los procesos que generaron el mayor porcentaje de GEI de manera directa fueron el transporte del producto con emisiones de hasta 537 kg de GEI/hl y el consumo de gas con intervalos de 69 a 242.2 kg de GEI/hl.

De la misma manera, se utilizó la metodología propuesta por la UNESCO en colaboración con Hoekstra para la cuantificación de la huella hídrica contemplando el agua proveniente de la producción de los insumos para la elaboración de la cerveza, el lavado, desinfección y limpieza de los diferentes tipos de envases (botellas, latas y barriles) y el equipo de producción, incluyéndose además la evaporada en la elaboración de la cerveza, y la que presenta en el producto final. Por último, se incluyó el agua residual generada en la producción. Los resultados muestran que para la elaboración de un hectolitro de cerveza se tiene una huella hídrica de 63.10 a 129.51 m³ de consumo de agua, donde de 62.65 a 129.20 m³ son de agua verde, 0.12 a 0.16 m³ son de agua azul y de 0.06 a 0.71 m³ son de agua gris.

ÍNDICE

1.Introducción	8
1.1 Antecedentes	9
1.3 Justificación	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo general	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 Organización de la tesis	15
2. Marco teórico	16
2.1 Medio ambiente	16
2.1.1 Impactos ambientales	16
2.1.2 Huella de carbono	19
2.1.3 PAS 2050	21
2.1.4 Huella hídrica	22
2.2 La cerveza	23
2.2.1 Elaboración de la cerveza	24
2.2.1.1 Materias primas utilizadas en la elaboración de cerveza	26
2.2.1.2 Etapas de producción de cerveza	30
2.2.1.3 Limpieza y desinfección de equipos y áreas de producción	35
2.2.2 Cerveza artesanal, nacimiento de un concepto	37
2.2.3 La cerveza en México	37
2.2.4 La cerveza en Baja California, orígenes y surgimiento	38
2.2.5 Impactos ambientales de la elaboración de la cerveza	39
2.3 Leyes en materia ambiental aplicables para la operación de una cervecería artesanal	41
2.4 Antecedentes de la aplicación del análisis de ciclo de vida en distintas industrias	43
2.4.1 Emisiones de la industria cafetalera	43
2.4.2 Emisiones de la industria vitivinícola	44
2.4.3 Emisiones de la industria apícola	46
2.4.4 Emisiones de la industria del pisco	47
2.4.5 Emisiones de la industria de jugos y bebidas carbonatadas	47
2.4.6 Emisiones de la industria cervecera	48
2.4.7 Emisiones de la industria del té	50
3. Metodología	50
3.1 Descripción de cuestionarios aplicados en la encuesta	51
3.2 Simulador para el cálculo de la huella de carbono e hídrica	52
3.2.1 Huella de carbono	56
3.2.2 Huella hídrica	64
4. Resultados y discusiones	68
4.1 Producción anual de las cervecerías encuestadas	68
4.2 Presentación y distribución	69
4.2.1 Presentación del producto	69
4.2.2 Distribución	70
4.3 Disposición de residuos orgánicos	71
4.3.1 Malta	71

4.3.2 Lúpulo	72
4.4 Huella de carbono del ciclo de vida de la cerveza artesanal	73
4.4.1 Producción anual en comparación con la capacidad instalada	73
4.4.2 Energía eléctrica mensual comparada con la producción mensual	74
4.4.3 Energía eléctrica utilizada para la elaboración de un hectolitro	75
4.4.4 Energía eléctrica por hectolitro en comparación con la producción mensual	76
4.4.5 Emisiones de GEI por la producción de insumos	77
4.4.6 Emisiones de GEI por transporte de insumos	78
4.4.7 Emisiones de GEI con respecto al gas utilizado en cada etapa de elaboración	79
4.4.8 Emisiones de GEI con respecto a la presentación del producto	80
4.4.9 Emisiones de GEI con respecto a la distribución del producto	81
4.4.10 Emisiones de GEI directas	82
4.4.11 Emisiones de GEI indirectas	83
4.4.12 Emisiones por variables de producción de las cervecerías	84
4.4.13 Porcentaje de generación de GEI por actividad cuando se toma en cuenta la ubicación más lejana y la más cercana de proveedores de insumos	85
4.4.14 Huella de carbono mínima y máxima de la elaboración de un hectolitro de cerveza artesanal en Tijuana	86
4.5 Huella hídrica	87
4.5.1 Porcentaje de tipo de huellas hídrica	87
4.5.2 Huella hídrica verde de los insumos	88
4.5.3 Huella hídrica directa e indirecta	89
4.6 Validación del Simulador	90
4.7 Propuesta para la disminución de emisiones y uso de agua	92
4.6.1 Disminución de la huella de carbono	92
4.6.2 Disminución de la huella hídrica	95
5. Conclusiones	96
6. Referencias	98
7. Anexos	123
7.1 Anexo A	123
7.2 Anexo B	128
7.3 Anexo C	138
7.4 Anexo D	139
7.5 Anexo E	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de elaboración de cerveza	25
Figura 2.2 Actividad enzimática en la maceración	31
Figura 3.1 Diagrama de factores para la cuantificación de la huella de carbono	58
Figura 3.2 Diagrama de flujo huella hídrica	65
Figura 4.1 Producción anual declarada de las cervecerías encuestadas	68

Figura 4.2 Porcentaje de presentación para la venta de la producción total que utilizan las cervecerías encuestadas	69
Figura 4.3 Porcentaje de distribución de la producción total que utilizan las cervecerías encuestadas	70
Figura 4.4 Porcentaje de disposición de residuos de malta de las cervecerías encuestadas	71
Figura 4.5 Porcentaje de disposición de residuos de lúpulo de las cervecerías encuestadas	72
Figura 4.6 Capacidad instalada de producción y producción anual real.	73
Figura 4.7 Energía eléctrica mensual consumida y producción mensual de cerveza	74
Figura 4.8 Energía eléctrica utilizada por equipo para la elaboración de un hectolitro	75
Figura 4.9 Consumo de energía eléctrica por hectolitro y producción mensual en las cervecerías encuestadas	76
Figura 4.10 Insumos utilizados para la elaboración de un hectolitro de cerveza y las emisiones de GEI por producción	77
Figura 4.11 Insumos utilizados para la elaborar un hectolitro y emisiones de GEI máximas y mínimas de su transporte	78
Figura 4.12 Consumos de gas para los distintos procesos de calentamiento y emisiones de GEI	79
Figura 4.13 Porcentaje de presentación de producción de cada cervecería y las emisiones de GEI	80
Figura 4.14 Porcentaje de distribución de la producción de cada cervecería y las emisiones de GEI	81
Figura 4.15 Emisiones de GEI directas para la elaboración de un hectolitro de cerveza	82
Figura 4.16 Emisiones de GEI indirectas para la elaboración de un hectolitro de cerveza	83
Figura 4.17 Porcentaje de aportación de cada cervecería a las principales emisiones de GEI	84
Figura 4.18 Porcentaje de generación de gases GEI por hectolitro por actividad cuando se toma en cuenta las ubicaciones más lejanas de los insumos	85
Figura 4.19 Porcentaje de aportación por actividad a la huella de carbono mínima de la elaboración de un hectolitro de cerveza	85
Figura 4.20 Huella de carbono mínima y máxima de la elaboración de un hectolitro de cerveza	86
Figura 4.21 Porcentaje de aportación de los distintos tipos de huella hídrica para la elaboración de un hectolitro de cerveza.	87
Figura 4.22 Porcentaje de utilización de insumos y la huella hídrica azul de los mismos.	88
Figura 4.23 Huella hídrica directa e indirecta por hectolitro de cerveza	89
Figura 7.1 Índice e instrucciones del simulador	126
Figura 7.2. Datos generales de la cervecería	127
Figura 7.3. Datos de las bombas utilizadas para la producción de cerveza	127
Figura 7.4. Consumo de gas para la elaboración de cerveza.	127
Figura 7.5 Kilogramos de malta para la elaboración de cerveza.	128
Figura 7.6 Kilogramos de lúpulo para la elaboración de cerveza	128

Figura 7.7 Kilogramos de levadura para la elaboración de cerveza	128
Figura 7.8 Productos de desinfección y limpieza utilizados en la elaboración de cerveza	129
Figura 7.9 Distribución del producto	129
Figura 7.10 Vehículos de distribución y botón de cálculo	129
Figura 7.11 Resultados del transporte de materia prima	130
Figura 7.12 Resultados del consumo eléctrico	130
Figura 7.13 Resultados de los insumos	131
Figura 7.14 Resultados del transporte del producto	131
Figura 7.15 Resultado del consumo de agua	132
Figura 7.16 Resultado del consumo de gas	132
Figura 7.17 Resultados de la huella de carbono	133
Figura 7.18 Resultados de la huella hídrica	133
Figura 7.19 Interfaz del simulador en Visual Basic	134
Figura 7.20 Datos de los insumos necesarios para la elaboración de cerveza	134
Figura 7.21 Datos de los procesos para la elaboración de cerveza	135
Figura 7.22 Resultados de la huella de carbono e hídrica	135
Figura 7.23 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Dr Emilio Hernández Martínez	139
Figura 7.23 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Ing. Paulina Perea Eguía	139
Figura 7.23 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki	139

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales países productores de lúpulo en 2004	28
Tabla 2.2 Leyes y normativas aplicables a la producción de cerveza	41
Tabla 4.1 Validación de simulador huella de la cerveza artesanal (SHCCA) en kg de GEI/hl.	91
Tabla 7.1 Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono y la huella hídrica.	137
Tabla 7.2 Análisis de varianza general	139
Tabla 7.3 Comparación de resultados de SHCCA y simuladores comerciales	140
Tabla 7.4 Análisis de varianza consumo de gas	140
Tabla 7.5 Análisis de varianza consumo de agua	140
Tabla 7.6 Análisis de varianza transporte de insumos lejos	141
Tabla 7.7 Análisis de varianza transporte de insumos cerca	141
Tabla 7.8 Análisis de varianza transporte de producto	141
Tabla 7.9 Análisis de varianza energía eléctrica	142

1. INTRODUCCIÓN

Las bebidas fermentadas han estado presentes desde los inicios de la civilización. Los sumerios y mesopotámicos ya nombraban a la cerveza en el año 10000 a. C. (Fernández et al., 2017), mientras que otras culturas como la egipcia, griega, romana, celta, belga, gala y germana perfeccionaron su elaboración (Ibáñez, 2013).

El consumo mundial anual de la cerveza ascendió 189.05 millones de hectolitros (Arthur, 2021), siendo el líder mundial en consumo per cápita República Checa con 141 litros, seguido por Austria con 107 litros (Conway, 2021). Se estima que anualmente se producen en el mundo 191 millones de hectolitros siendo China y Estados Unidos, los mayores productores con 20.8% y 11.4% del mercado mundial, respectivamente (US Beer Ratings, 2019). En Estados Unidos el volumen del mercado por las cervecerías artesanales alcanza 12.3% (Brewers Association, 2021b), por otro lado, en México la participación de las cerveceras artesanales sigue siendo baja con un porcentaje de 0.16 del volumen producido (Acermex, 2019). Se estima que en Baja California se producen 72000 hectolitros anuales (Asociación de Cerveceros de Tijuana, comunicación personal).

La presente investigación se origina como parte del trabajo de titulación del programa de Maestría en Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California, donde se cuantificaron los impactos ambientales de la producción de la cerveza artesanal en Tijuana. En este capítulo se realizará una introducción sobre el trabajo en cuestión, en donde se dará un repaso sobre la historia de la huella de carbono y la huella hídrica, así como su definición, orígenes, metodologías e implementaciones previas. Por otro lado, se hablará sobre la historia de la cerveza, su trascendencia histórica, crecimiento, producción, ingredientes y los impactos ambientales que esta industria tiene sobre el medio ambiente.

1.1 Antecedentes

La huella de carbono se define como la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, derivados de las actividades de producción de cualquier producto o servicio (Espíndola y Valderrama, 2012). Tal como su nombre lo indica, las emisiones de GEI de un producto corresponden a la suma total de emisiones que se generan durante una parte o todo el ciclo de vida de un producto, expresado comúnmente en kilogramos de dióxido de carbono equivalente ($\text{Kg CO}_2 \text{e.}$) o en emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Esto permite identificar rutas para controlar, reducir o mitigar las emisiones y su impacto. La huella de carbono ha sido ampliamente utilizada para medir las emisiones de diversas industrias como la incineración de residuos (Zhuang et al., 2020), industria de la construcción (Zhou y Wong, 2015; Onat y Kucukvar, 2020), baterías para carros eléctricos de segundo uso (Kamath et al., 2020), granjas eólicas (Bhandari et al., 2020), transporte público (Ghate y Qamar, 2020), maquinaria agrícola (Mantoam et al., 2020), industria textil (Peters et al., 2015), industria alimenticia como la láctea (Ruviaro et al., 2020, Drews, et al., 2020; Wilkes et al., 2020), granjas acuícolas (Chang et al., 2017), del tomate (Xue et al., 2020), del arroz (Xu et al., 2019), pasta libre de gluten (Güngörmüşler et al., 2020), naranjas (Bell y Hovarth, 2020), plátano (Vallejo et al., 2017), manzana (Vinyes et al., 2017), miel (Mujica et al., 2016), nuez de la India (Agyemang et al., 2016), de cereales (Rajaniemi et al., 2011) entre otros.

La guía Publicly Available Specifications 2050 (PAS 2050) se diseñó para analizar el ciclo de vida, con la finalidad de cuantificar las emisiones GEI asociadas a la producción de un producto o servicio (Muñoz, 2012). Describe el método para la medición de las emisiones de GEI que son generados en toda la cadena de producción de productos o servicios. Es una especificación publicada por el Instituto Británico de Estandarización en 2008, en colaboración de diversos

expertos de la administración pública británica. Es un documento de aplicación voluntaria, y su cumplimiento no brinda inmunidad a las organizaciones que la implementen en el cumplimiento de sus obligaciones legales (Atance et al., 2012). La PAS 2050 ha sido ampliamente utilizada para medir las huellas de carbono de distintos productos, algunos casos de estudio que han utilizado se mencionan a continuación, como en la industria vitivinícola (Gierling y Blanke, 2021; Scrucca et al., 2017), industria manufacturera de Sri Lanka (Munasinghe et al., 2015), productos de madera aserrada en España (Martínez y Berdasco, 2015), producción de aceite de olivo (Espadas et al., 2019), industria ganadera (McAuliffe et al., 2017), industria del papel (Yue et al., 2017), industria maderera (Seppälä et al., 2019), entre otros.

La huella hídrica (HH) es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, se define como el volumen total de agua utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, por un grupo de personas o por un país. De la misma manera, se puede obtener la huella hídrica de un producto, cuantificando el agua consumida en todas las etapas involucradas para la elaboración del mismo, considerando sus insumos y procesos (Arreguín et al., 2007). Se divide en tres tipos: HH azul, consumo de recursos hídricos como el agua dulce, tanto superficial como subterránea, es el agua que no regresa a la misma cuenca de la que se extrajo, o la que se incorpora a un producto; HH gris, es toda el agua dulce que se requerirá para asimilar la carga de contaminantes de las actividades humanas; HH verde, es el agua que se incorpora a los insumos que se requieren para la elaboración del producto, como los agrícolas, envases o servicios (Hoekstra y Mekonnen, 2010). La huella hídrica ha sido ampliamente utilizada para medir el agua utilizada en distintos procesos, productos y servicios, como la industria de generación energía termoeléctrica (Chini, 2020), bioplásticos (Brizga et al., 2020), acero (Nezamoleslami y Hosseinian, 2020), alimentaria como el café (Ratchawat et al., 2020), las aceitunas (Pellegrini et

al., 2016), la vitivinícola (Steenwerth et al., 2015; Bonamente et al., 2015; Johnson y Mehrvar, 2019), destilados (Leinonen et al., 2018), cereales (Zhai et al., 2020), caña de azúcar (Adetoro, 2020), granjas de tilapia (Gúzma-Luna et al., 2020), soja (Olivera et al., 2021; Rodríguez et al., 2021), arroz (Abbade, E. 2020), trigo (Govere et al., 2020), entre otros.

La cerveza es una de las bebidas fermentadas más antiguas de la humanidad, la primera bebida fermentada asemejada a la cerveza fue creada inconscientemente por el pueblo sumerio en Mesopotamia, donde se obtenía una bebida llamada “sikaru” proveniente de la fermentación de diversos cereales, migas de pan y frutos fermentados por levaduras salvajes. Se tienen vestigios de las primeras recetas y los efectos que provocaba esta bebida que datan del año 4000 a.C. Los egipcios fueron los primeros en elaborar bebidas fermentadas con cereales malteados, sentando las bases para la cerveza moderna, añadiendo diversas especies para dar distintos sabores y aromas, esta bebida se llamaba “zythum”, esta fue tan importante que incluso se llegó a utilizar como un tipo de divisa en Egipto (Fajardo, 2010). Siglos más tarde los griegos heredaron las técnicas de elaboración del pueblo egipcio y traspasaron los conocimientos a los romanos, los cuales llamaron a esta bebida “cerevisia” por la diosa de la agricultura Ceres (Ministerio de Cultura, Argentina, 2016). Cuando cayó la Roma imperial, se empezaron a edificar diversos monasterios cristianos en toda Europa, donde la cerveza era elaborada en gran escala por monjes que mejoraron las recetas de los egipcios. En la Edad Media, la cerveza fue una alternativa al consumo de agua, esto debido a las grandes enfermedades y plagas que podían ser adquiridas al beber agua contaminada. En el año 1079 se introdujo por primera vez el lúpulo para la elaboración de cerveza, prolongando la vida de la bebida y brindando una nueva gama de sabores (Pedrueza, 2018). Tiempo después, en 1516 surge la Ley de Pureza Alemana, Reinheitsgebot, estableciendo estándares de calidad y

dictaminando que los ingredientes de la cerveza son agua, malta, lúpulo y levadura (Bamforth, 2009).

La cerveza es la cuarta bebida más consumida en el mundo (Stone, 2014), representando el 75% de la cuota del mercado global de bebidas alcohólicas, siendo los principales mercados del mundo India, China, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Alemania y México valorado en 530 mil millones de dólares, siendo el principal productor es China con 448 millones de hectolitros, seguido por Estados Unidos con 221 millones de hectolitros (TechNavio, 2019). En México, la industria de la cerveza representa el 29.3% del mercado total de bebidas en nuestro país, valorado en 4 mil 645 millones de dólares (Cerveceros de México, 2020), se encuentra en el primer lugar de exportación mundial de cerveza con 40 millones de hectolitros exportados, en el cuarto en producción mundial con 120 millones de hectolitros, y en el puesto 32 en consumo con 62 litros per cápita (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

En México, el mercado de la cerveza artesanal ha crecido exponencialmente, pasando de 14 cervecerías en 2010 a 940 en 2018 (Acermex, 2019). En 2018 se fabricaron 189 mil hectolitros de cerveza representando el 0.16% de la producción total, con una tasa de crecimiento anual del 53.29% con un valor de mercado de mil millones de pesos (Acermex, 2019). Baja California es considerada la capital de la cerveza artesanal, la cual ha tenido un crecimiento continuo en paralelo a la industria gastronómica y turística de la región. En la actualidad se cuentan con más de 60 cervecerías artesanales repartidas en el estado (Manzano, 2020), estimándose que en todo el estado se producen 72 mil hectolitros anuales (Aispuro, Comunicación Propia).

1.2 Justificación

La producción de cerveza artesanal es una actividad económica relativamente joven, en Tijuana y en el estado de Baja California, en donde los impactos ambientales que anteriormente se

detallan y generan no han sido evaluados, entre ellos la huella de carbono y la huella hídrica, desconociendo las emisiones totales de GEI y el agua utilizada a lo largo del ciclo de vida de la cerveza artesanal. Por lo cual, es importante realizar este tipo de análisis, con el fin de identificar aquellas áreas de oportunidad para la reducción de emisiones de GEI, así como la optimización del uso del agua. Más aun, la gran mayoría de las cervecerías artesanales carecen de los permisos correspondientes en materia ambiental, lo que nos indica que dichas empresas no han sido propiamente evaluadas y auditadas para conocer sus impactos ambientales.

En este estudio se analizaron las cargas ambientales de las materias primas y las emisiones al ambiente, lo que permitirá conocer cuáles son los procesos que presentan menor y mayor impacto ambiental dentro de la elaboración de la cerveza artesanal. Los resultados obtenidos pueden ser una herramienta en la toma de decisiones de los cerveceros y puede coadyuvar a que la fabricación de cerveza sea sustentable.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar las emisiones de carbono, así como la huella hídrica de las cervecerías artesanales en la ciudad de Tijuana.

1.3.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la huella de carbono generada por la producción de un hectolitro de cerveza utilizando la metodología PAS 2050.
- Cuantificar la huella hídrica generada por la producción de un hectolitro de cerveza utilizando la metodología Water Footprint Network.
- Elaborar un simulador para la medición de la huella de carbono, huella hídrica y residuos generados.
- Proponer medidas de mejora en el desempeño ambiental de estas empresas.

1.4 Organización de la tesis

Este documento consta de siete capítulos. El capítulo 1 consta de la introducción; el capítulo 2 corresponde al marco teórico en el que se basa la investigación; el capítulo 3 detalla la metodología utilizada en esta investigación; el capítulo 4 consta de la discusión de los resultados obtenidos, el capítulo 5 exterioriza las propuestas para la disminución de la huella de carbono e hídrica; y finalmente, el capítulo 6 presenta conclusiones de la tesis.

Se integran al trabajo dos anexos, en el primero cuales se presentan las encuestas realizadas (Anexo A), las imágenes del simulador (Anexo B), las tablas de factores de emisión y utilización de agua (Anexo C) y la constancia de la inscripción para modelo de utilidad del simulador (Anexo D).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Medio ambiente

El ser humano ha mantenido una estrecha relación con la naturaleza desde su origen, sin embargo, la actividad humana ha tenido afectaciones en todos los ecosistemas del planeta, teniendo repercusiones irreversibles (Ramos y Sánchez, 2013). La utilización de los recursos naturales que obtenemos gratuitamente se conocen como servicios ambientales, como el agua y el aire (SEMARNAT, 2015a).

Es el conjunto de valores naturales, sociales y culturales que afectan y condicionan la vida de las sociedades actuales y la de las generaciones futuras (Serrano, 2013). Está constituido por el medio físico y por el medio humano, es el espacio en el que se desarrolla la vida de los seres vivos y permite la interacción de estos (Dobben, 1980). Se compone de todos aquellos factores que nos rodean, que afectan directamente a los organismos. También puede entenderse como el medio donde habita un ser vivo (Gónzalez-Gaudiano, 2017).

2.1.1 Impactos ambientales

El término *impacto* proviene del latín que significa “chocar”. Son los efectos producidos en el ambiente debido a las actividades humanas en un espacio y tiempo específicos (Ali, 2016). Implica los efectos adversos sobre los ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos ambientales, los residuos urbanos e industriales, emisión de contaminantes, contaminación de afluentes, son ejemplos de impactos ambientales (Perevochtchikova, 2013).

Existe una creciente preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático impulsando a las organizaciones e instituciones a profundizar su conocimiento a respecto de los GEI y su dinámica (Schneider y Samaniego, 2010). Los impactos ambientales se manifiestan a partir de diversas actividades y se expresan tanto en ambientes naturales como en aquellos

resultantes de la intervención humana (Schneider y Samaniego, 2010). Al existir un control cada vez mayor, por parte del hombre sobre el medio ambiente, se crean conflictos entre los objetivos del ser humano y los procesos de la naturaleza (Sarmiento, 2016). El hombre modifica los flujos de energía de la naturaleza, así como las cadenas alimenticias afectando a los ecosistemas, para crear ambientes deseables para la comodidad humana (Vázquez, 2014). Se deben establecer el tipo de alteraciones que pueden ser consideradas como impacto ambiental, considerando los aspectos naturales, como la flora y fauna, como también los posibles medios de contaminación como lo son el aire, agua, suelo y los residuos, y que tanto pueden afectar al medio natural y al ser humano (Espinoza, 2002). Estas alteraciones pueden generar repercusiones a corto plazo, dado que las modificaciones son planificadas para obtener activos en periodos de 5 a 10 años, sin considerar las complicaciones a futuro ni la sustentabilidad (Vázquez y Valdez, 1994).

Existen diversos tipos de impactos ambientales, que pueden ser clasificados de acuerdo con su origen como: el aprovechamiento de recursos naturales renovables (pesca, forestal) aprovechamiento de recursos no renovables (petróleo, carbón); contaminación, que genere algún tipo de residuo, emisión de gases o vertimiento de líquidos al ambiente; ocupación de territorio, modificación de un espacio natural para utilizarlo en actividades agrícolas, residenciales o comerciales (SEMARNAT, 2018). A su vez, los impactos ambientales pueden clasificarse según los cambios perpetrados al medio ambiente. Impacto negativo, daño al medio ambiente que empobrece la calidad del mismo; impacto positivo, permite sostener el medio ambiente con cambios poco significativos; impacto directo, deterioro ambiental por actividades humanas; impacto indirecto, provocado por los desechos o residuos de las actividades humanas; impacto reversible, cuando es posible tomar acciones para contrarrestar el cambio producido; impacto irreversible, cuando no existe la posibilidad de deshacer los daños provocados; impacto continuo,

daño constante al ambiente; impacto periódico, ocurre en determinados periodos de tiempo; impacto acumulativo, sumatoria de una serie de cambios al ambiente consecuencia de acciones pasadas y presentes; impacto residual, daño al ambiente que persiste con el tiempo (Cotán-Pinto, 2007).

Los indicadores de un impacto ambiental son utilizados para la elaboración de un estudio de impacto ambiental (EIA), permiten evaluar los avances de la política ambiental y la efectividad de los programas implementados para ofrecer una herramienta práctica que visualice su seguimiento a través del monitoreo y la evaluación de cambios, su manejo y comunicación (Perevochtchikova, 2013). Los anteriores son información clave para cuantificar y conocer los impactos ambientales, y nos brindan la capacidad de tomar decisiones, son una herramienta que se puede emplear en todas las actividades humanas y varían según su grado de complejidad (Raffino, 2020). Se han desarrollado indicadores para entender diversos fenómenos como el cambio climático, pérdida de suelos y el riesgo de especies de flora y fauna, entre otros. Su definición varía dependiendo de la institución y los objetivos específicos de la misma, la más conocida y aceptada proviene de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la cual utiliza un conjunto de indicadores para medir el desempeño ambiental de los países que integran la organización (SEMARNAT, 2015b). Según su definición, un indicador ambiental es un valor que proporciona información para describir el estado del ambiente y sus principales funciones son, reducir el número de medidas requeridas para presentar una realidad más cercana a la situación actual y para simplificar los procesos de comunicación (SEMARNAT, 2011).

Los indicadores ambientales son utilizados como herramientas para informar sobre el estado del medio ambiente, evaluar el desempeño de políticas ambientales y comunicar los progresos en la búsqueda del desarrollo sustentable (Perevochtchikova, 2013). Existen tres tipos

de indicadores ambientales: tipo I, datos siempre disponibles gracias a un monitoreo permanente; tipo II, se basan en cálculos de datos que provienen del monitoreo permanente, pero requieren datos adicionales; tipo III, son indicadores conceptuales no cuantitativos (Ministerio del Ambiente, 2013). Algunos ejemplos de indicadores ambientales son: índice de bienestar económico sostenible (IBES), índice de desarrollo humano (IDH), índice de sostenibilidad ambiental (ISA), índice de desempeño ambiental (EPI), índice global de economía verde (GGEI), huella ecológica, huella de carbono y huella hídrica, entre otros (Roper, 2020).

2.1.2 Huella de carbono

Es un concepto utilizado mundialmente para comprender las consecuencias del cambio climático, el cual cuantifica la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades industriales, de producción, consumo y servicios (Valderrama et al., 2011). El 11 de diciembre de 1997 se crea el Protocolo de Kioto, con el fin de reducir las emisiones de gases efecto invernadero que causan el calentamiento global (SEMARNAT, 2016). Carbon Trust define que las emisiones totales de gases de efecto invernadero en toneladas anuales que son emitidas a la atmósfera por las actividades de los seres humanos, emitidas por un individuo, producto, actividad, empresa, región o país (Espíndola y Valderrama, 2012).

La huella de carbono permite identificar rutas para controlar, reducir o mitigar las emisiones y su impacto (Schneider y Samaniego 2010). Debe abarcar todos los efectos que deja tras de sí una actividad o producto, por lo tanto, se debe considerar todo el ciclo de vida de éste (Espíndola y Valderrama, 2012). Para conocer la huella de carbono de un producto, es necesario implementar la metodología denominada ciclo de vida, que cuantifica las emisiones de CO₂ equivalente de todas las etapas que conllevan a la creación de éste, desde la producción de las

materias primas empleadas en su producción hasta la eliminación del producto terminado (Altuna et al., 2012).

Los gases de efecto invernadero son responsables de causar el fenómeno conocido como cambio climático (Sepúlveda, 2012). Según la ISO 14001, los mayores GEI son: vapor de agua ($\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorocarburos (CFC) y ozono (O_3) (Molinero, 2015). Los GEI se calculan multiplicando la masa de un determinado gas de efecto invernadero por su potencial de calentamiento global (Szigeti y Harangozo, 2017). Cada GEI tiene un potencial para calentar la atmósfera, llamado potencial de calentamiento global (PCG), lo cual depende exclusivamente de la capacidad de la molécula de absorber la radiación infrarroja y su tiempo de permanencia en el ambiente (Sepúlveda, 2012).

Se divide en dos conceptos:

Huella primaria: es la medida de las emisiones directas de CO_2 equivalente de todo el ciclo de vida de los productos y servicios de una empresa a partir de la transformación de materias primas o la elaboración de sus productos, incluyendo el consumo de energía y transporte sobre los cuales se tiene control directo (Valderrama et al., 2011). Las emisiones directas son provenientes de fuentes propias controladas por las empresas, así como las derivadas de la quema de combustibles o por procesos químicos (Schneider y Samaniego 2010).

Huella secundaria: es la medida de las emisiones indirectas de CO_2 equivalente de todo el ciclo de vida de los productos que consumimos, aquellos asociados con la manufactura y eventual descarte (Poole, 2015). Las emisiones indirectas son generadas por parte de terceros, son todas aquellas relacionadas con las fuentes de energía, producción materias primas, transporte de materias para su transformación y otras emisiones indirectas que son consecuencia de las

actividades de la organización, pero ocurren fuera de la empresa y no son controladas o generadas por ésta (Pomponi y Stephan, 2021).

2.1.3 PAS 2050

Es una norma internacional que describe la metodología para la cuantificación de la emisión de GEI, esta fue desarrollada por el Instituto Británico de normas (British Standards Institution) requerido por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural (DEFRA) y Carbon Trust en el Reino Unido (Miguel, 2011). Reconocida como el mejor modelo para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de bienes y servicios, considera las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y cuantifica en unidades de dióxido de carbono equivalente, generadas durante los procesos de: fabricación, transporte de las materias primas, fabricación, distribución; uso por el consumidor y eliminación de los desechos (Freijo, 2012). Es un estándar que permite a una empresa conocer sus emisiones y poder tomar medidas para su mitigación (Atance et al., 2012).

Para poder implementar esta metodología, la empresa primero debe cumplir con la legislación vigente en materia ambiental aplicable, después se debe elaborar un análisis de ciclo de vida de sus productos o servicios, esto involucra todas las fases del proceso, se tienen dos modelos distintos, que son: negocio a negocio (business to business), que considera el final del ciclo de vida cuando el producto es entregado a otra organización para que esta lo emplee para la fabricación de otro producto; negocio a cliente (business to customer), este considera el ciclo de vida por completo de un producto o servicio, también se conoce como un análisis de la cuna a la tumba (ISO Tools, 2012), cuantificando las emisiones de las materias primas, energía, equipo, fabricación, operación, transporte, almacenamiento y disposición final del producto (Miguel, 2011). Para el cálculo y reducción de la huella de un producto o servicio se requiere de una serie

de pasos los cuales son: creación de un mapa de procesos, comprobar límites, recopilar datos, calcular la huella y homogeneizar resultados en unidades de dióxido de carbono equivalente, finalmente se debe tener una validación de los resultados y reducir emisiones (Atance et al., 2012).

2.1.4 Huella hídrica

Se define como el volumen total de agua utilizada para producir bienes y servicios (Chapagain y Hoekstra, 2004). Es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, que nos indica el consumo y la contaminación del agua, nos permite conocer la cantidad de agua que utiliza un individuo, empresa, industria, región o un país (Tian et al., 2018). Es posible medir la huella hídrica de un proceso o producto (Tolón et al., 2013). Para poder determinar la huella hídrica es necesario conocer el volumen, su clasificación, su origen y el momento en que se extrajo el agua (Martínez, 2013). Así mismo, para poder determinar los impactos ambientales causados a través del tiempo en una cuenca en específico se requiere: conocer el nivel de productividad de la zona, estrés hídrico, impactos en la cuenca baja y las localidades que dependen de esa cuenca (Dourojeanni et al., 2002).

Se clasifica en tres conceptos, agua azul que contempla el consumo de agua dulce, superficial o subterránea que es definida como pérdida cuando el agua se evapora, no regresa a la misma cuenca o es incorporada en un producto; agua verde que proviene de las lluvias siendo almacenada en forma de humedad en la tierra; y el agua gris que se conforma de toda el agua contaminada de los distintos procesos en los que es utilizada y el volumen de agua dulce requerida para asimilar una carga de contaminantes para llegar a los estándares ambientales y a una concentración natural del agua (Chapagain y Hoekstra, 2004). A su vez la huella hídrica se compone por dos partes, la huella hídrica interna que es el agua utilizada para la elaboración de los recursos de una región o país, y la huella hídrica externa que proviene de los bienes y servicios

importables de otras regiones o países (Arreguín et al., 2007). La distinción entre el agua azul y verde es importante, sobre todo en los cultivos de cebada, dada la singularidad climatológica de la localización del cultivo con respecto a la proporción de agua de riego utilizada y las lluvias de la región (WWF y SAAB Miller, 2009).

La huella hídrica de un producto es la sumatoria total de agua azul, verde y gris, indirecta y directa involucrada en toda la cadena de procesos para su elaboración (Rocha, 2011). Datos de la UNESCO indican que la huella hídrica indirecta de las cervecerías por tonelada de malta es de 1950 m³ y para la malta tostada es de 2437 m³ (Hoekstra y Mekonnen, 2010). Para el lúpulo la huella hídrica es de 2746 m³/ton (AstraZeneca, 2016).

En México, 4% del total de la materia orgánica descargada en aguas residuales se atribuye a las cerveceras y malterías (SEMARNAT, 2008). El estado de Baja California corresponde a la región hidrológica número I denominada como Península de Baja California que tiene una precipitación media anual de 4.4 km³ convirtiéndola en la región con menos precipitación de todo el país, los acuíferos de la región se encuentran en condiciones de sobreexplotación e intrusión salina con una disponibilidad de 1336 m³/habitante/año, lo que indica que se encuentra en una zona con estrés hídrico, donde el agua es utilizada en un 80% para suelos agrícolas y el 20% restante se reparte entre el sector público e industrial (INEGI, 1995).

2.2 La cerveza

La cerveza es una bebida milenaria originaria de la cultura mediterránea clásica. Se ha podido demostrar que esta bebida ha sido consumida desde hace más de 7 mil años por los sumerios, encontrando la primera receta para su elaboración en el código Hammurabi que data del año 1800 a.C. (Martínez, 2015). En el Amazonas se han encontrado vestigios de bebidas precursoras a la cerveza con más de 10 mil años de antigüedad (Deloitte, 2017).

Las técnicas para la elaboración de la cerveza se han ido refinando a través del tiempo, cuyo descubrimiento se debió a una mala disposición de granos de un cereal llamado farro, lo que aunado con la humedad llevo a su germinación, este descuido permitió que se descubriera que el grano germinado tenía un sabor y un valor nutricional mayor que el grano crudo (Preedy, 2008). Utilizaban este grano germinado para hacer una masa antes de convertirlo en pan, y debido a la gran cantidad de azúcares contenidos en la masa, esta fermentaba espontáneamente gracias a las levaduras salvajes presentes en el grano, en las vasijas y en el ambiente (Capitello y Maehle, 2020). Tiempo después los primeros cerveceros notarían que esta masa podía diluirse con agua, dejarse en fermentación y obtener lo que hoy en día conocemos como cerveza (Bamforth, 2009).

El consumo de la cerveza y su elaboración se extendió por Europa gracias al comercio entre el imperio romano y los egipcios, esta fue desplazada al norte del continente en el imperio de Carlomagno en el siglo IX (Hereter, 2018). En el siglo XI se empezó a elaborar cerveza en los distintos monasterios a lo largo de Europa, introduciendo nuevos ingredientes como el lúpulo para brindar amargor y prolongar la vida de la cerveza (Ministerio de Cultura, 2019). En el siglo XVI se dictan los ingredientes esenciales para la elaboración de la cerveza y nace la Ley de Pureza de 1516, a finales del siglo XVII esta ley se expandió por todo el mundo, y permanece vigente hasta el día de hoy (Lederman, 2017). La cerveza llega a América a finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII (García, 1993).

2.2.1 Elaboración de la cerveza

Para la elaboración de la cerveza se tienen cuatro ingredientes esenciales que son el agua, la malta, el lúpulo y la levadura (Palmer, 2017). El proceso de malteado por el cual se obtiene la malta, es la germinación de cualquier grano, el secado y por último tostado, generalmente se utiliza el grano proveniente de la cebada; para la obtención de azúcares fermentables provenientes de la

malta se realiza un proceso llamado sacarificación, que es la infusión de la malta triturada en agua a cierta temperatura para lograr que las enzimas (alfa-amilasa y beta-amilasa) conviertan los almidones (amilosa y amilopectina) en azúcares más simples (glucosa, maltosa y maltotriosa) (Garret, 2016). Lo que le interesa al cervecero es obtener la máxima eficiencia en términos del mayor rendimiento de alcohol por unidad de almidón (Bamforth, 2009). Terminada la sacarificación, el mosto es bombeado a la “olla de hervor” donde serán añadidos los distintos lúpulos que brindarán amargor (alfa-ácidos) y diversos aromas (beta-ácidos) provenientes de las más de 80 especies distintas de lúpulo existentes en el mundo (Cole, 2017). Una vez terminado el tiempo correspondiente de hervor el mosto es enfriado mediante un intercambiador de calor, en un proceso generalmente cerrado para que el mosto no se exponga a bacterias o levaduras salvajes, y transportado a un fermentador donde la levadura *Saccharomyces cerevisiae* será la encargada de transformar los azúcares del mosto provenientes de la maceración, en alcohol y dióxido de carbono (Barth, 2013). La Figura 2.1 muestra las etapas del proceso de elaboración de la cerveza desde el cultivo de la cebada, hasta el embotellado de la misma.



Figura 2.1. Proceso de elaboración de cerveza (Fuente: Porto Lobo, 2018)

2.2.1.1 Materias primas utilizadas en la elaboración de la cerveza

a) Cultivo de grano, proceso de malteado y azúcares fermentables

No se conoce exactamente cuándo ni dónde se empezó a consumir la cebada y el trigo (Mallétt, 2014) pero, muchos agrónomos e historiadores han llegado a teorizar que la cebada se desarrolló por primera vez en Etiopía hace aproximadamente 20 mil años (Harlan, 1957). Para lograr consumir de manera más fácil y aprovechar los nutrientes del grano, los humanos desarrollaron diversas técnicas de preparación, como la molienda, el remojo, la cocción y el malteado (Fuller, 1840). La cebada es el grano más utilizado para la elaboración de cerveza, seguido por orden de utilización el trigo, sorgo, centeno, avena y mijo (Briggs et al., 2004).

Algunos granos, principalmente la cebada, pasan por un proceso conocido como malteado, donde primero son humedecidos, permitiendo que el agua entre al embrión del grano y produciendo hormonas que viajan al tejido interior llamado aleurona, este rodea inmediatamente al endospermo almidonado, dichas hormonas activan la producción de enzimas y digieren las paredes del endospermo degradando del 5 al 10% del almidón y parte de sus proteínas, dejando un grano friable, fácil de moler y con suficientes almidones para lograr la obtención de alcohol, este proceso tiene una duración entre cuatro a seis días (Briggs, 1998). Después, los polímeros de proteínas se degradan en pequeñas moléculas solubles, que migran al embrión para su nutrición, a raíz de esto, los granos empiezan a germinar y cuando se tiene una raíz de no más de 2 mm de larga, se detiene secando el grano en un proceso denominado horneado iniciando a temperaturas relativamente bajas de 50°C, para no destruir a las enzimas amilasas que son susceptibles al calor. Cuando la malta sale del horno el porcentaje de humedad debe ser del 4% o inferior (Goldammer, 2008).

La malta brinda distintos atributos que definen la cerveza, como el color, sabor, cuerpo y con ayuda de la levadura el alcohol (Holle, 2003). Se tienen dos tipos de malta, la malta base la cual aportará la mayoría de los azúcares fermentables que se obtiene después de la fase de horneado, y la malta de especialidad, donde la misma malta es horneada o tostada a distintas temperaturas y tiempos, dependiendo de las características buscadas. Este tipo de malta es utilizada para dar el color y sabor característicos de cada estilo de cerveza (Mallétt, 2014). Por otro lado, existen los denominados adjuntos, los cuales son granos de arroz, maíz o avena, que son utilizados para proporcionar cuerpo, azúcares, volumen o distintos sabores a la cerveza, tienen una temperatura de sacarificación mayor a los granos convencionales, son utilizados en estilos específicos o para disminuir costos de producción. Otros productos que pueden ser implementados son el jarabe de maíz, azúcar de caña, miel de abeja, entre otros, con el propósito de aumentar el contenido alcohólico de la cerveza (Bamforth, 2009).

b) Cultivo de lúpulo

El lúpulo utilizado para la cerveza, *humulus lupulus*, es una planta de la familia de las *cannabáceas* oriunda de diversas regiones de Europa, Asia y Norteamérica, se cree que fue cultivada en Babilonia hace más de 2200 años. pero se tienen vestigios de su implementación en la cerveza hasta el año 1079 (Hieronimus, 2012). Es una planta prácticamente cultivada para la elaboración de cerveza, salvo algunas excepciones como aceites para aromaterapia o almohadas de flor de lúpulo; cuenta con propiedades bactericidas inhibiendo la formación de bacterias en la cerveza actuando como conservador natural, ayuda a la precipitación de proteínas y permite mayor estabilidad de la espuma (Bamforth, 2009). Anualmente se cultivan más de 100 mil toneladas de flor hembra sin fecundar. En la Tabla 2.1 se destaca que el país con mayor producción de lúpulo es Alemania con más de 33 mil toneladas. Esta tiene en sus hojas una resina conocida como

lupulina la cuál aporta amargor y distintos aromas y sabores en diferentes proporciones dependiendo de la variedad de lúpulo (Goldammer, 2008). Un gran porcentaje de las flores son secadas, trituradas y procesadas para ser comercializadas en forma de pellets, ya que facilita su almacenamiento, traslado y mantiene su frescura por más tiempo, muy pocas cervecerías a nivel mundial siguen utilizando la flor del lúpulo sin procesar (Bamforth, 2010).

Tabla 2.1. Principales países productores de lúpulo en 2019 (Fuente: International Hop Growers Convention, 2019)

País	Producción de Lúpulo en toneladas
Australia	1432
Bélgica	395.81
Bulgaria	323.68
China	11,764.54
Republica Checa	6313.18
Alemania	33,570.04
Francia	1,171.45
Nueva Zelanda	793.86
Polonia	2805.86
Portugal	57.13
Rusia	340.72
Eslovaquia	352.72
Eslovenia	2392
España	1415.95
Inglaterra	1602.36
Ucrania	1272.63
Estados Unidos	25,244.68
Serbia	265.45
Sudáfrica	999.09
Total	92,513.22

c) Reproducción de levadura

Cuando los antiguos pobladores de Mesopotamia empezaron a elaborar lo que hoy en día se conoce como cerveza, indirectamente utilizaban levadura para la fermentación de la bebida, para ellos la fermentación era un misterio divino (White y Zainasheff, 2010). En el siglo XII se empezó a tener más entendimiento sobre cómo funcionaba la levadura y su papel fundamental para

la fermentación (Grupo Haricana, 2016). De esta manera empezaron a reutilizar la levadura de lote a lote, donde tomaban la parte de la superficie de la cerveza en fermentación llamada *krausen* y se vertía en el nuevo lote (Maltosaa, 2019). Esto dio origen a una selección selectiva donde se reutilizaba la levadura de lotes exitosos y se descartaba la de los fracasados, esta técnica es conocida como *krausening* y es implementado hoy en día por cervecerías tradicionales que buscan preservar el contexto histórico recreando recetas clásicas (Anchor Brewing, 2012).

En 1680, Anton Van Leeuwenhoek observa por primera vez la levadura en un microscopio, pensando que la fermentación era un proceso espontaneo y que la levadura era un subproducto químico. En 1789 Antoine-Laurent describe a la fermentación como una reacción química que convierte los azúcares en dióxido de carbono y alcohol (Boulton y Quain, 2001). Finalmente, a inicios del siglo XIX, Louis Pasteur establece que la levadura es un microorganismo vivo, unicelular, que se multiplica por bipartición con la misma energía obtenida por el consumo de glucosa y tiene la capacidad de transformar los azúcares obtenidos en el proceso de *sacarificación* en alcohol, CO₂ y calor (Bamforth, 2010). Este descubrimiento conllevó a mejorar la calidad de la cerveza, la sinterización de distintas cepas de levadura como la *Saccharomyces pastorianus* o *carlsbergensis* que produce cervezas tipo *lager* o de baja fermentación, y la *Saccharomyces cerevisiae* que produce cervezas tipo *ale* o de *alta fermentación* (White y Zainasheff, 2010). Además, se mejoró el entendimiento de cómo funcionan las células y sentaron las bases para un nuevo campo de estudio, la bioquímica (Boulton y Quain, 2001).

Hoy en día la levadura es reproducida en laboratorios químicos en dos presentaciones, seca y líquida, es decisión del cervecero elegir el tipo de levadura que utilizará, según el estilo de cerveza a elaborar (Hieronymus, 2005). Existen más de 200 cepas comerciales de levadura provenientes de las familias *ale* y *lager*, algunas tienen denominación de origen o tienen patente

bajo algún laboratorio (Difusa, 2020). También se utilizan las llamadas levaduras salvajes, que son aquellas que se encuentran de forma natural en el medio, como la *Brettanomyces bruxellensis* o *Brettanomyces lambicus* con las que se producen distintos estilos de cerveza como las *brett ales* y las *lambic* (Colomer, et al., 2019).

2.2.1.2 Etapas de producción de cerveza

a) Molienda

El grano de malta es triturado utilizando un molino de rodillos, el objetivo es romper la estructura del grano para facilitar el acceso de agua al endospermo para realizar el proceso de conversión de almidones, el molino puede ser configurado para los distintos tipos de grano y dependiendo del tamaño de molienda requerida, el grano debe quedar expuesto pero la cascarilla debe quedar lo más intacta posible ya que, este servirá como un filtro natural para el mosto (Priest y Stewart, 2006). Si la molienda resultase muy fina se pudieran encontrar problemas como obstrucción de líneas, una cama de grano que retenga azúcares fermentables, turbidez de la cerveza, fermentación incompleta y mala retención de espuma (Goldammer, 2008).

b) Maceración

El cervecero se encarga de calcular los kilogramos de malta necesarios para lograr la densidad deseada del líquido y obtener el alcohol esperado, esto es medido en grados Plato (°P), donde la solución es proporcional a un grado Plato (1 °P) por gramo de sacarosa en 100 gramos de agua (Stephen, 2003), este también puede ser medido con la gravedad específica o densidad relativa, que relaciona la densidad del mosto (kg/m^3 o g/cm^3) y la densidad del agua con la ecuación: $\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$, donde: ρ_r es la densidad relativa, ρ es la densidad absoluta (densidad del mosto en kg/m^3 o g/cm^3) y ρ_0 es la densidad de referencia (densidad del agua en 1 kg/m^3 o 1 g/cm^3), esto

representa cuantos gramos de sacarosa están disueltos en un litro de agua, a mayor gravedad específica, o como lo conocen los cerveceros gravedad original, mayor porcentaje de alcohol podrá ser conseguido (Hall, 1995).

En la Figura 2.2 podemos observar que existe una estrecha relación entre la temperatura de maceración y los tipos de azúcares que podrán ser obtenidos, este proceso se conoce como *sacarificación* y el rango de temperaturas se conoce como *la ventana del cervecero* (Priest y Stewart, 2006). Las temperaturas más altas ($> 67^{\circ}\text{C}$) favorecen a las enzimas más complejas (alfa amilasas) que transforman los almidones (amilopectina) en azúcares (maltosa y dextrina), que dan lugar a cervezas más robustas, maltosas y dulces. En cambio, las temperaturas bajas ($< 67^{\circ}\text{C}$) favorecen a las enzimas menos complejas (beta amilasas) que transforman los almidones (amilosas) en azúcares simples (glucosa y maltosa), que dan lugar a cervezas secas y con menor cuerpo (Bamforth, 2009).

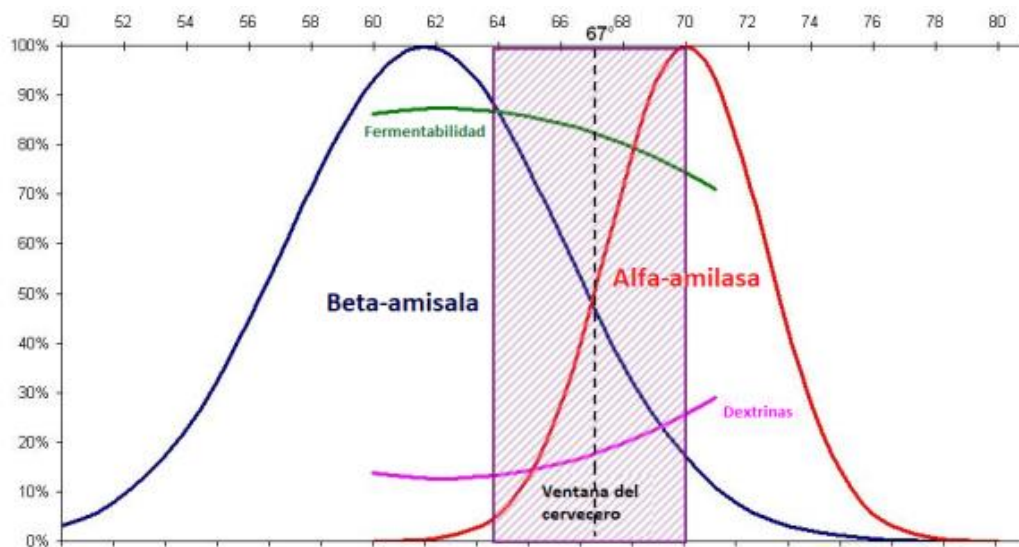


Figura 2.2. Actividad enzimática en la maceración (Fuente: Bamforth, 2009).

c) Recirculado y lavado del grano

Terminando la maceración (45 a 60 minutos), el mosto es recirculado (15 a 20 minutos) en la misma olla para retener los granos que pudieron haber traspasado el falso fondo utilizando la misma cama de grano como un filtro secundario (Mckinley, 2013). Cuando finaliza la recirculación, el mosto es transferido a la olla de hervor, mientras esto ocurre, se rocía agua caliente (77 °C) a la cama de grano para extraer los azúcares residuales de la misma, este proceso se conoce como lavado del grano (Goldammer, 2008).

d) Hervido

Cuando todo el mosto obtenido de la maceración y el lavado es transferido a la olla de hervor, se empieza a calentar y se lleva al punto de ebullición (100 °C), esta etapa tiene diversas funciones, primero, el calor (>80 °C) inactiva a las enzimas complejas (alfa amilasas) que pudieron haber sobrevivido a la etapa del lavado del grano; segundo la ebullición prolongada ayuda a la esterilización del mosto, eliminando organismos que pudiesen comprometer la fermentación; en tercer lugar, las proteínas tienden a coagularse cuando son sometidas a temperaturas altas, lo que ayuda a su precipitación, auxiliando en la claridad de la cerveza (Huxley, 2011). Finalmente, la razón principal de la ebullición del mosto es la isomerización de los ácidos del lúpulo, que dependiendo del tiempo que estos permanezcan en el mosto hirviendo, aportaran amargor o aromas a la cerveza (Hieronymus, 2012). La mayoría de los cerveceros tienden a hervir el mosto entre una a dos horas, donde se evapora alrededor del 4% del líquido por hora resultando en un mosto más concentrado (Bamforth, 2009).

e) Enfriamiento del mosto

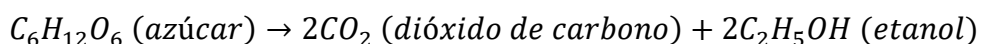
Una vez finalizado el hervor, el mosto debe ser transferido al fermentador de manera rápida, y a su vez, este debe llegar al fermentador a temperaturas inferiores a los 40°C para que la levadura sobreviva, siendo indispensable verterla lo más pronto posible, para evitar la propagación de bacterias o levaduras salvajes que compitan por los azúcares fermentables (Verdú, 2015). Estas temperaturas también evitan compuestos como el sulfuro de dimetilo ($[\text{CH}_3]_2\text{S}$) o DMS (por sus siglas en inglés), que se forman a temperaturas entre 60°C y 90°C, el cual proporciona sabores indeseados a la cerveza (Ferreira, 2014).

Este proceso se conoce como enfriamiento, y se logra utilizando intercambiadores de calor de placas, donde el mosto fluye en un sentido por un lado de las placas, mientras que del otro lado a contraflujo circula un líquido refrigerante como agua, salmuera, amoníaco o propilenglicol. Cuando el mosto se enfría, más sólidos pueden ser precipitados, de igual manera, dicha precipitación es auxiliada por medio de la utilización de centrifugadoras encontradas en cervecerías de mayor capacidad, una vez que el mosto se encuentra en el fermentador, se adiciona oxígeno para incentivar el crecimiento saludable de la levadura (White y Zainasheff, 2010).

f) Fermentación

Tradicionalmente, la cerveza se fermenta en recipientes de fermentación grandes, amplios y abiertos, lo que ayuda a la reutilización de la levadura de un lote a otro sacándola desde la superficie, esta técnica sigue siendo utilizada en algunas cervecerías de Inglaterra, sin embargo, este tipo de fermentación no es tan higiénica ya que, los fermentadores son difíciles de limpiar y la cerveza queda expuesta al medio (Jackson, 1998). Hoy en día, la mayoría de las cervecerías utilizan fermentadores cónicos de acero inoxidable, donde se facilita la precipitación de las

proteínas, recuperación de levadura, logrando una mejor higiene y una cerveza de mayor calidad (Boulton y Quain, 2001). Algunas cervecerías pequeñas utilizan fermentadores de plástico, inclusive cubetas y garrafones de vidrio, esto no es lo más recomendable debido a que, el plástico puede presentar fisuras donde se pueden albergar bacterias que afectaran el sabor de la cerveza.



g) Control de temperatura

El control de temperatura es esencial para lograr una cerveza de alta calidad, es la diferencia entre los fermentadores cónicos con refrigeración interna a los fermentadores plásticos. Se tiene que cuidar la temperatura en todas las etapas de la fermentación, desde la transferencia al fermentador hasta el envasado (Brewers Association, 2021a) La temperatura constante en la fermentación evita la producción de precursores de sabores desagradables o errores en la cerveza, derivados de la levadura (Boulton y Quain, 2001). Por esto la cerveza producida en fermentadores de acero inoxidable con refrigeración interna será de mejor calidad comparada a la cerveza producida en fermentadores plásticos en cuartos con temperatura controlada, una gran parte del trabajo del cervecero es la comprensión y la manipulación de la temperatura de fermentación para el resultado ideal (Jackson, 1998).

h) Lagering y carbonatación

Al terminar la fermentación la cerveza se pasa a otro recipiente llamado tanque abrillantador o *brite tank*, en donde se realiza un proceso llamado maduración o *lagering*, donde se filtra, clarifica y abrillanta la cerveza, ayudando en la carbonatación de la cerveza. Desde este tanque, la cerveza es envasada en las distintas presentaciones, barril, botella o lata (Gribbins, 2013). Las cervecerías que no cuentan con este tanque optan por utilizar los mismos fermentadores para realizar este paso, donde la cerveza se baja a temperaturas inferiores a los 4°C en un proceso

llamado *cold crash* con el objetivo de precipitar proteínas y levadura al fondo del fermentador para lograr una cerveza clara y limpia, algunos cerveceros se auxilian con agentes como el *Biofine Clear*, que es una solución coloidal de ácido silícico (SiO_2) para sedimentar partículas (Maltosaa, 2020). La carbonatación se realiza de dos formas, por acondicionamiento natural en botella, donde las levaduras residuales ingieren azúcares añadidos posterior a la fermentación, y la carbonatación forzada en el barril por medio de inyectar de dióxido de carbono en altas presiones (> 25 psi) o recirculando la cerveza por medio de un carbonatador con piedra difusora (Mckinley 2013).

2.2.1.3 Sustancias químicas empleados en la limpieza y desinfección de equipos de producción

a) Hidróxido de sodio (NaOH)

Se encuentra en forma de perlas como un sólido blanco o en presentación disuelta en agua al 50%. Soluble en agua, inodoro, pH 14, absorbe humedad y dióxido de carbono, corrosivo de metales y tejidos. Es una sustancia peligrosa que produce una irritación intensa al entrar en contacto con la piel y ojos, puede provocar perforaciones intestinales en su ingesta e irritación en las vías respiratorias cuando se inhala. Es una sustancia estable en condiciones normales sin humedad, reacciona violentamente con algunos ácidos, metales y materia orgánica. Se utiliza con agua hirviendo en soluciones al 5% para la limpieza de equipo de producción, fermentadores y barriles.

b) Ácido peracético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$)

Es una mezcla de peróxido de hidrógeno, ácido acético y agua en equilibrio. Líquido incoloro, de uso alimenticio, claro con olor fuerte, soluble en agua, volátil, con pH 2.8. Nocivo por inhalación, ingestión y provoca quemaduras químicas al entrar en contacto con la piel. Debe ser almacenado en un lugar fresco, ventilado, limpio, lejos del fuego y cerrado en todo momento. Se

utiliza con agua purificada en soluciones al 3% para la desinfección de utensilios y piezas necesarios para la elaboración de la cerveza, y para la desinfección de botellas y barriles.

c) Propilenglicol ($C_3H_8O_2$)

Es un alcohol polihídrico, obtenido por la hidratación del óxido de propileno, de consistencia líquida viscosa, incoloro, inodoro, con ligero dulzor, con baja volatilidad, soluble en agua, con pH de 6.5. Es utilizado como líquido refrigerante en sistemas de refrigeración interna para los fermentadores y depósitos de agua para el intercambiador de calor. El fabricante recomienda cambiarlo cada 6 meses, y mezclarse con agua destilada al 25%. Pueden ocurrir derrames accidentales. Tiene un índice de toxicidad bajo, con las mayores lesiones siendo irritación leve de las vías respiratorias y los ojos.

d) Hipoclorito de sodio ($NaClO$)

Es un sólido blanco que tiene facilidad de descomposición liberando oxígeno y cloro, de consistencia líquida, color amarillo verdoso, olor picante, altamente reactivo entrando en contacto con ácidos con pH bajos y con agua a temperaturas superiores a los 40°C, flamabilidad nula, acelera el proceso de descomposición de metales pesados por lo que no debe entrar en contacto con el acero inoxidable. Índice de toxicidad alto, causa irritación al entrar a las vías respiratorias o estar en contacto con los ojos. Es utilizado en solución con agua en distintas proporciones, y se implementa para la limpieza de pisos y paredes de las cervecerías.

e) Dióxido de carbono (CO_2)

Gas incoloro, inodoro, no inflamable, contenido en cilindros a alta presión, sin riesgo de reactividad. Debe ser utilizado en lugares ventilados, riesgo de pérdida del conocimiento o asfixia por exposición directa en tiempos prolongados en espacios cerrados, puede generar quemaduras

por congelamiento en la piel y severa irritabilidad si entra en contacto con los ojos. Es utilizado para carbonatar la cerveza por medio de un proceso conocido como carbonatación forzada, donde el dióxido de carbono (CO_2) reacciona con las moléculas de agua (H_2O) y se forma ácido carbónico (H_2CO_3) conocido también como *agua carbonatada*.

2.2.2 Cerveza artesanal, nacimiento de un concepto

El concepto de la llamada cerveza artesanal surge a finales de los años 70's en Reino Unido, gracias a una generación de pequeñas cervecerías enfocadas en la producción tradicional de cerveza tipo *ale*. El instituto de estudios cerveceros define que una micro-cervecería es aquella con una producción menor a los 15 mil barriles anuales y están regidas por la ley de pureza alemana, *reinheitsgebot* (German Brewers Association, 2021). Dicho concepto se llevó a Estados Unidos en la década de los 80's, logrando que la industria artesanal de ese país creciera de 50 cervecerías en 1960 a 1449 en 2009 (Bamforth, 2009).

La cerveza representa el 75% de la cuota del mercado global de bebidas alcohólicas, siendo los principales mercados del mundo India, China, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Alemania y México. Este mercado se valora en 530 mil millones de dólares con un crecimiento anual del 6% (TechNavio, 2019). Gracias a la demanda de cerveza artesanal, el número de cerveceros en el mercado global está creciendo significativamente, representando el 94% del total de cervecerías en el mundo (The Beer Times, 2021), debido a esto gobiernos de diversos países, incluido México, han comenzado a promover la producción de cerveza artesanal y la apertura de nuevas cervecerías (Bernáldez, 2013).

2.2.3 La cerveza en México

La cerveza artesanal es un sector emergente en México que ha cobrado gran fuerza en los años recientes. Cerveceros que saben la importancia existente en la producción y la venta se apoyan

en una mercadotecnia diferente, cuidando hasta el último detalle del proceso de producción. Así mismo, existen los consumidores de cerveza artesanal, personas dispuestas a probar la cantidad de matices, densidades, aromas y sabores que permiten múltiples combinaciones e interpretaciones que contribuyen al disfrute del consumidor (Deloitte, 2017).

En México el origen de la cerveza data de la época colonial, después de que los conquistadores la importaran de Europa. La primera fábrica de cerveza llamada “El Portal” abrió sus puertas en la Nueva España en Amecameca y Paso de Cortés, siendo autorizada por el Rey Carlos V (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). La ubicación era estratégica pues se aprovechaban las aguas de deshielo de los volcanes del Valle de México para su producción. En 1890 comienza el auge de esta industria en la ciudad de Monterrey con Cervecería Cuauhtémoc (Recio, 2004).

A mediados de los años 90’s, nació la primera cervecería artesanal en México, Cervecería Cosaco, ubicada en la ciudad de México. A partir de 2011 la industria comienza a mostrar un crecimiento sostenido, logrando ser uno de los principales exportadores de cerveza artesanal (Rebolledo, 2017). La oferta de cerveza artesanal en México se estima en más de 600 empresas, con un consumo anual de 62 litros per cápita (Antúnez, 2013). Hoy en día la cerveza mexicana tiene presencia en más de 180 países, siendo el principal exportador y el cuarto en producción de cerveza a nivel mundial (Deloitte, 2017).

2.2.4 La cerveza en Baja California, orígenes y surgimiento

El origen de la cerveza en Baja California data de 1923, en la ciudad de Mexicali, donde un grupo de empresarios crearon cerveza Mexicali. Siguiendo la misma línea de calidad, en 1944 se estableció en el municipio de Tecate la primer gran cervecería de Baja California, cervecería Tecate, produciendo en la actualidad 20 millones de litros de cerveza mensuales. En 1998 surge la

empresa llamada Consorcio Cerveceros en la ciudad de Tijuana, con la colaboración de diversos profesionistas y cerveceros provenientes de República Checa, creando así la cerveza Tijuana (SECTURE, 2015).

La industria de la cerveza artesanal vive un crecimiento exponencial, y Baja California se ha posicionado a nivel mundial llevando el nombre de “la capital de la cerveza artesanal de México” (García, 2019). Hoy en día, Baja California cuenta con más de 120 cervecerías independientes, divididas en las 3 ciudades más grandes del estado, Tijuana (42%), Mexicali (29%) y Ensenada (24%), el otro 5% está distribuido en Tecate y Rosarito (Manzano, 2020). Actualmente no existe una clasificación exacta para las cervecerías, siendo clasificadas por datos provenientes del mercado estadounidense, que clasifica a las cervecerías por su producción anual como: pico-cervecería (≤ 500 hl/anuales), nano-cervecería (≤ 1000 hl/anuales) y micro-cervecería (≤ 3000 hl/anuales). Esta clasificación se basa en los volúmenes de producción de dicho mercado, pero seguir dicha clasificación segmentaria a la mayoría de cervecerías artesanales mexicanas en pico y nano cervecerías, por lo tanto, la clasificación que se utilizará será la indicada por North Willston Company que clasifica a las cervecerías por el tamaño del equipo de producción: pico cervecería (≤ 3 hl), nano cervecería (≤ 7.5 hl), micro cervecería (≤ 30 hl). El concepto de cerveza artesanal se debe a estar por debajo de 15 mil hectolitros anuales (North Willston Brewing Company, 2020).

2.2.5 Impactos ambientales de la elaboración de la cerveza

Los impactos ambientales causados por la industria cervecera pueden provenir de diversos medios de los cuales podemos destacar:

- Emisiones de GEI y utilización de agua en la elaboración de las materias primas como el cultivo de malta y lúpulo, reproducción de levaduras, así como envases como barriles, botellas y latas.
- Emisiones GEI debido a la transportación de materias primas e insumos, así como la utilización sistemas de calentamiento directo e indirecto que utilizan el gas butano-propano con el propósito de elevar la temperatura del agua.
- Aguas residuales provenientes de la limpieza y desinfección del equipo de producción, fermentadores, barriles y áreas de trabajo, que pueden contener gran variedad de sustancias químicas como el hidróxido de sodio, ácido peracético, hipoclorito de cloro, entre otros.
- Residuos sólidos orgánicos provenientes de los procesos de maceración y ebullición que se constituyen en su mayoría por malta, lúpulo y levadura.

2.3 Leyes en materia ambiental aplicables para la operación de una cervecería artesanal

Existen diversas leyes enfocadas en la conservación y cuidado del medio ambiente, a través de ellas se busca mantener una estricta vigilancia de los patrimonios naturales de la nación, estas leyes pueden ser de competencia federal, estatal o municipal, se concentran en mantener un equilibrio ecológico, controlar la contaminación y garantizar la sustentabilidad de las diferentes actividades que se realizan en toda la nación. Los residuos de las cervecerías se han convertido en un problema, la falta de lugares para su disposición y la cantidad conjunta generada semanalmente hacen que pueda considerarse como residuos de manejo especial. Existen diversos residuos generados en las cervecerías, de los cuales se pueden destacar la malta y el lúpulo.

También se tienen reglamentos, en los cuales se encuentran todos los dictámenes para la correcta ejecución de su respectiva ley, y normativas, las cuales dictaminan los diversos controles

y parámetros que deben seguir los comercios e industrias para realizar adecuadamente sus procesos. Las Leyes Generales enfocadas a la protección del ambiente tienen sus fundamentos en ciertos artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos donde se establecen los derechos y obligaciones de los mexicanos con el fin de preservar el medio ambiente. A continuación, se muestra una tabla donde se mencionan los artículos en los cuales están fundamentadas las leyes de protección ambiental, las cuales dan pie a las normativas aplicables a las cervecerías artesanales. En la Tabla 2.2 se destacan las leyes y normativas en materia ambiental aplicables a las cervecerías artesanales, así como sus bases en la constitución mexicana.

Tabla 2.2 Leyes y normativas en materia ambiental aplicables a las cervecerías artesanales

Documento	Material ambiental del documento
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	En esta se estipulan los siguientes artículos que ponen las bases para distintas leyes en materia ambiental. Artículo 4: Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo. Artículo 27: La nación tendrá que regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación con el objeto de cuidar su conservación (Cámara de Diputados, 2020).
Ley Nacional de Aguas	Determinar los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas (DOF, 1992).
Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	Tiene como objetivo propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano, así como preservar, restaurar, mejorar y proteger la biodiversidad. A su vez, define los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación. También es responsable de promover el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, además de controlar la contaminación del aire, agua y suelo (PROFEPA, 2016a).
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	Tiene como objetivo garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención, valorización y gestión integral de los residuos, con el fin de prevenir la contaminación de suelos y llevar a cabo su remediación

(PROFEPA, 2016b). De acuerdo con lo establecido en el artículo 19, los residuos de manejo especial pueden ser cualquier residuo que determine la Secretaría pertinente en común acuerdo con las autoridades municipales (DOF, 2015).

Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California	Tiene como objetivo el garantizar el derecho a todas las personas, de vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, así como de establecer las bases para aprovechar en forma sustentable los recursos naturales, preservar el equilibrio ecológico y proteger la biodiversidad (Congreso del Estado de Baja California, 2001).
Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California	Tiene como objetivo el regular la prevención de la generación, el aprovechamiento y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que no estén expresamente atribuidos a la Federación, con el propósito de prevenir la contaminación. Los generadores, tienen la responsabilidad de todo el ciclo de vida del residuo, desde cuando se produce, así como su manejo, transportación y disposición final, de acuerdo con lo establecido en el artículo 10. Además, queda estrictamente prohibido depositar los residuos en lugares no autorizados, así como su dilución con líquidos con el fin de verterlos al sistema de alcantarillado, como se indica en el artículo 15. Los generadores de residuos tienen la responsabilidad de separar los residuos sólidos urbanos de los residuos de manejo especial, y estos deben ser almacenados de manera que no afecten o causen daños a terceros, de acuerdo con lo establecido en el artículo 11 (Congreso del Estado de Baja California, 2007).
NOM-002-SEMARNAT-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. En esta norma se indican los rangos permisibles de pH en las descargas de aguas residuales que van de 5.5 a 10 unidades, donde las descargas deben estar dentro de estos límites en todo momento, la temperatura máxima de descarga es de 40°C y no debe existir materia flotante en las descargas de aguas residuales (DOF, 1998).
NOM-161-SEMARNAT-2011	Esta normativa es aplicable para los generadores de residuos de manejo especial. Establece los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión de otros Residuos de Manejo Especial, es de carácter no excluyente, donde se estipula que todo residuo generado en una cantidad mayor o igual a 10 toneladas anuales será considerado como residuo de manejo especial (DOF, 2013).

2.4 Antecedentes de la aplicación del análisis de ciclo de vida en distintas industrias

En las últimas décadas, se ha hablado de cómo implementar y medir la sustentabilidad en la producción de alimentos, por ello diversos sectores buscan someterse a prácticas sustentables, como medidas para reducir las emisiones de GEI y preservar el agua, con el objetivo de convertirse en empresas responsables y mitigar sus impactos ambientales (Borsato et al., 2019). La huella de carbono es un tema ampliamente estudiado, ha sido implementado para conocer las emisiones de diversas industrias y productos, en este apartado destacaremos los más relevantes de acuerdo a nuestro caso de estudio.

2.4.1 Emisiones de la industria cafetalera.

a) Huella de carbono

El café es la bebida más consumida en el mundo, cultivado en más de 70 países, teniendo su origen en la provincia Kaffa al sudeste de Etiopía. Un estudio realizado en Finlandia en 2020, recopiló datos de ocho fincas de cultivo en Brasil, Nicaragua, Colombia y Honduras, así como de tostadores y empacadores en Finlandia. Se estimó que las emisiones de GEI por litro de café fue de 0.27 a 0.7 kg. Las etapas con mayor contribución al total de las emisiones fueron la de cultivo entre 32 a 78%, y de consumo, entre 19 y 49% del total. Siendo el uso de fertilizantes el que más contribuye a estas emisiones. La conclusión de este fue que una mejora de los sistemas de cultivo y fertilización es clave para la reducción de las emisiones de GEI (Usva et al., 2020). Un segundo estudio, realizado en Tailandia, donde se calculó las emisiones del café Robusta, con la metodología ciclo de vida, que incluyó el cultivo de café, tostado y molienda. Se realizó un estudio en 180 fincas cafetaleras en la provincia de Chumphon, Tailandia, en donde se estimó que por cada kilogramo de café producido se emiten alrededor de 1.51 kg de GEI. Las conclusiones, al igual que al artículo anterior, fueron que la mayor fuente de emisiones es debido al uso de fertilizantes,

seguido por el proceso de tostado y la energía eléctrica (Ratchawat et al., 2020). Por último, un estudio realizado en regiones cafetaleras en Brasil, se cuantificaron las emisiones de GEI del cultivo de café, en las 10 regiones más importantes del país en las temporadas productivas del 2004 al 2015, se estimó que la huella de carbono de estas regiones es de 19 millones de toneladas de GEI (Martins et al., 2018).

b) Huella hídrica

Se estimó una huella hídrica de 0.02 m³ por litro de café, para los países centroamericanos productores de café, no obstante, se calculó que la huella hídrica en las fincas brasileñas fue entre los 0.15 a 0.27 m³ por litro de café. Para disminuir la huella hídrica del café se deben implementar mejoras en la estrategia de riego (Usva et al., 2020). Por otro lado, Ratchawat et al., (2020) determinó que la huella hídrica de un kilogramo de café robusta es de 37 m³. Siendo las aguas residuales del proceso de lavado y fermentación las que representan el 68% del consumo total de agua. De la misma manera Martins et al., (2018), concluyó que la huella hídrica de las 10 regiones con más importancia en la industria cafetalera consumió 49 millones de m³ de agua, en el periodo del 2004 al 2015.

2.4.2 Emisiones de la industria vitivinícola.

a) Huella de carbono

Un estudio realizado en Chipre (Litskas et al., 2020), recopiló datos de 20 viñedos, donde se cultiva vid autóctona, así como de una casa vinícola. Se realizó una evaluación del ciclo de vida, teniendo como limitantes del sistema, el inicio en el viñedo y el final en el mercado. Se estimó que las emisiones son de 1.31 kg de GEI por botella de 750 ml. Siendo la parte que más contribuyó con las emisiones de carbono, el consumo de energía eléctrica con el 46% seguido por la fabricación de los envases con el 18%. Existen áreas de mejora para la disminución de dichas

emisiones, que son utilizar botellas más livianas, utilizar los residuos orgánicos como fertilizante y mejorar la eficiencia energética. En otro estudio realizado en la región Finger Lakes, en Nueva York (Trombly y Fortier, 2019), implementaron la metodología de ciclo de vida para cuantificar las emisiones de la industria vitivinícola de la región. Se recolectaron datos de tres casas vinícolas de diferentes rangos de volumen de producción. Se encontró que, para todas las vitivinícolas estudiadas, las mayores emisiones provinieron de la producción de botellas, también se encontró que para la vitivinícola con menor producción las mayores emisiones provinieron del cultivo de la vid. Los resultados fueron un rango de 0.617 a 1.03 kilogramos de GEI por botella. La media de emisiones de una botella de vino a nivel mundial se encuentra entre 0.68 a 2.68 kg de GEI. La primera hipótesis fue que por la región que se encontraban las casas vinícolas así como el clima, reducirían los impactos ambientales, pero se concluye que se encuentran dentro de la media mundial, por lo que deben trabajar en la reducción de la misma para formar empresas sustentables. Un tercer estudio realizado en Alemania, recolectó los datos de 5 casas vitivinícolas y 9 agricultores, considerando un análisis del ciclo de vida, se encontró que las emisiones fueron entre 0.753 a 1.069 kilogramos de CO₂ equivalente por botella de vino. Los principales contribuyentes a estas emisiones son los envases con un 31% y la energía eléctrica con 18% del total de las emisiones. Una opción para la disminución de la huella de carbono para la industria vitivinícola es la reutilización de las botellas y la implementación de energías renovables en conjunto podrían reducirse las emisiones hasta un 47% por botella de vino (Ponstein et al., 2019).

b) Huella hídrica

Se realizó un estudio para la estimación de la huella hídrica de la producción de una botella de vino, utilizando la metodología de Water Footprint Assessment, donde se elaboró un análisis de ciclo de vida, para estudiar el volumen de agua requerida en cada fase del proceso de acuerdo

con la ISO 14046. Se cuantificó el agua azul, verde y gris, teniendo como caso de estudio la casa vinícola Umbrian Wine Making Company. Se estimó que para cada botella de 750 ml se requieren 632.2 litros de agua, siendo el mayor contribuyente el agua verde con 98.3% (Bonamente et al., 2015). Las aguas residuales de las bodegas generadas durante la vinificación a menudo se tratan en conjunto con las aguas residuales municipales en las secciones biológicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales antes de su descarga al medio ambiente, y la huella hídrica gris asociada con estas descargas a menudo se pasa por alto en las evaluaciones de la huella hídrica del proceso de elaboración del vino. Este estudio presenta un método para evaluar la huella hídrica gris asociada con las aguas residuales de bodegas tratadas en conjunto con las aguas residuales municipales en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. La aplicabilidad de este método se ilustra con un estudio de caso para la región del Niágara de Ontario, Canadá. Se determinó que la huella hídrica gris total de los efluentes de aguas residuales de bodegas tratadas que se descargan a las aguas superficiales es de $1.47 \times 10^7 \text{ m}^3 / \text{año}$. El tratamiento disminuyó sustancialmente la huella hídrica gris en comparación con la de las aguas residuales de la bodega sin tratar (reducción del 99.3%).

2.4.3 Emisiones de la industria apícola

Argentina es un país exportador de productos agrícolas, donde el 95% de la miel producida se destina a mercados de exportación, siendo uno de los tres mayores exportadores a nivel mundial. Se realizó un estudio para evaluar la huella de carbono de esta industria, donde se recapitulan las emisiones a lo largo del ciclo de vida del producto. Se recopilaron datos que incluyeron la producción anual de miel, ubicación geográfica de colmenas y plantas de procesamiento, así como el consumo de combustibles y energía. Este estudio se elaboró siguiendo el método ISO 14040, y

se calculó una huella de carbono de 2.5 kg GEI por kilogramo de miel, determinando que el proceso de extracción, es el que más contribuye a las emisiones de GEI con el 90.7%, concluyendo que se deben realizar medidas para hacer más eficiente la etapa del procesamiento para mitigar las emisiones de la producción de miel en Argentina (Mujica et al., 2016).

2.4.4 Emisiones de la industria del pisco

La producción de pisco en Perú se concentra en el sur del país distribuida en cinco regiones productoras. Se realizó un estudio con la finalidad de lograr mejores prácticas de los productores, para la selección de tecnologías e identificar prácticas para lograr una producción más limpia, se analizó las emisiones de la industria del pisco, utilizando el análisis de ciclo de vida, con el fin de identificar los puntos críticos y proponer acciones de mejora. Se evaluaron seis bodegas, en las etapas de viticultura, vinificación, destilación y embotellado, con el propósito de obtener la huella de carbono para una botella de pisco en presentación de 500 ml. Los resultados fueron que se emiten entre 1.7 kg a 4 kg de GEI. Siendo las operaciones de viticultura las que presentaron las mayores cargas ambientales debido al uso de fertilizantes. La etapa de embotellado también fue relevante, debido a los altos impactos de la producción del vidrio, y por último se encontró que las emisiones en la etapa de destilación son relevantes debido a la energía utilizada en esta operación (Vázquez et al., 2017).

2.4.5 Emisiones de la industria de jugos y bebidas carbonatadas

La isla de Malta es un país altamente dependiente de las importaciones y que genera energía eléctrica en sistemas basados casi exclusivamente en el uso de combustibles fósiles. Se determinaron las huellas de carbono de diez jugos multi frutales comercializados en la isla, abarcando todos los procesos, desde la fase agrícola hasta la distribución de los productos finales. Se consideraron los jugos en presentaciones de 250 ml, se encontró que la huella de carbono más

bajo fue de 0.5 kg de GEI, proveniente de productos que utilizan únicamente ingredientes locales, mientras que los importados presentan huellas de carbono de 0.67 a 0.8 kg de GEI. encontrando que el mayor contribuyente para las emisiones de los jugos elaborados en el país fue el uso de electricidad con el 78% de las emisiones (Roibas et al., 2018).

2.4.6 Emisiones de la industria cervecera

Se realizó un estudio para medir las emisiones generadas por la industria cervecera y cómo el volumen producido por cada cervecería y los envases contribuyen a las emisiones de GEI. Los envases estudiados fueron botellas de vidrio y de tereftalato de polietileno (PET). Los resultados fueron que para la botella de vidrio se tuvieron emisiones de 127 a 192 kg de GEI y para la botella de PET de 103 a 169 kg de GEI por hectolitro de cerveza. Se determinó que mientras menor el volumen anual producido tenían las cervecerías, más eran sus emisiones finales por botella, concluyendo con este estudio, que para la mitigación de dichos impactos se pueden tomar medidas como el reciclar las botellas de ambos materiales, sustituir materias primas importadas por productos locales e implementar energías renovables para los consumos de electricidad. Se calculó una reducción de la huella de carbono del 60% si se implementan las medidas antes mencionadas (Cimini y Moresi, 2018ab).

2.4.7 Emisiones de la industria del té.

China cuenta con la mayor producción y número de productores de té en el mundo. Recientemente se ha mejorado el cambio hacia la producción de té orgánicos como posible solución para reducir los impactos ambientales, diversos estudios se han realizado para cuantificar las emisiones de la industria del té, evaluando la huella de carbono. El primer estudio utilizó un enfoque de análisis del ciclo de vida para evaluar la huella de carbono de cinco productos, tomando en cuenta dos unidades funcionales, 1 kg de té seco y una taza de té. Los resultados mostraron que

las distintas tecnologías empleadas para procesar el producto ejercen importantes efectos sobre la huella de carbono. Los puntos más relevantes y con mayores emisiones fue la electricidad requerida para el procesamiento del producto. Utilizando estrategias integrales en la mejora de los procesos, como el ahorro de energía se puede lograr disminuir hasta en un 65% las emisiones del té orgánico chino (Xu et al., 2019). Un segundo estudio se realizó para determinar el impacto ambiental y la huella de carbono del té Dongshan en el condado de Yilan, China. Se utilizó el software SimaPro versión 8.0.2 en conjunto con la metodología IPCC 2007 para medir la huella de carbono de los productos, como resultado se dio a conocer que el té convencional tenía una huella de carbono de 7.035 kg CO₂ e. siendo sus principales contribuyentes la materia prima con el 35.15%. Se encontró que los puntos críticos del ciclo de vida provienen principalmente de la utilización de fertilizantes en la fase de materias primas. Se propuso la implementación de fertilizantes orgánicos, así como un uso eficiente de los mismos y la promoción del desarrollo agrícola sostenible para mitigar los impactos ambientales de la industria del té (Hu et al., 2019). Otro estudio calculó la huella de carbono del té Darjeeling de la India, utilizando el método ISO 14067, analizando el ciclo de vida de la bebida. Se obtuvo que las emisiones para un kilogramo de té se sitúan entre 7.1 a 25.3 kg de GEI, teniendo como mayores aportaciones a las emisiones el método de cultivo, las fuentes de energía y el medio de transporte (Cichorowski et al., 2015).

3 METODOLOGÍA

Se implementó la metodología de análisis de ciclo de vida para el cálculo de la huella de carbono y la huella hídrica. Los datos fueron tomados desde las declaraciones de emisiones de los distintos productores de materias primas, así como aquellos reportados por Navarra Agraria y otros autores (Altuna et al., 2012; Shin y Searcy, 2018). Para estimar la huella hídrica, se utilizaron datos provenientes del reporte del Instituto del Agua, perteneciente a la UNESCO y de los productores de insumos, además de las estimaciones de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas a los productores de cerveza artesanal.

3.1 Aplicación de encuestas a productores

Se realizó una encuesta que consistió en la aplicación de un cuestionario a los productores seleccionados con el propósito de definir distintos escenarios posibles para las cervecerías artesanales, con la finalidad de obtener la información necesaria para cuantificar los impactos ambientales de la producción de un hectolitro de cerveza.

3.1.1 Tamaño de la muestra

Se determinó que el tamaño de muestra a encuestar fue de 26 cervecerías, con un 90% de confiabilidad y un margen de error del 10% utilizando la siguiente ecuación (Stevenson, 1981):

$$n = \frac{Np(1 - p)}{\frac{(N - 1)ME^2}{Z^2} + p(1 - p)}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, N es el tamaño de la población, N=42 cervecerías; p es la proporción, p=0.5; ME es el margen de error 90% confiabilidad, ME=0.1; Z es el nivel de confianza o certidumbre obtenida de la tabla de valores de probabilidad acumulada para la distribución normal estándar, z=1.64. Cabe destacar que, al momento de recabar datos, se suscitó

la pandemia del COVID-19, lo que dificultó la implementación de las mismas, lo que redujo el número de encuestas implementadas a 15.

3.1.2 Descripción de cuestionarios aplicados en la encuesta

La encuesta se conformó por un cuestionario (Anexo A) de 5 secciones en donde se dividen 30 preguntas en los rubros siguientes:

1. Energía requerida para la elaboración. Se identifica la capacidad del equipo de elaboración, así como los equipos utilizados, las horas de uso, su potencia y el tipo de energía que se utiliza, con el objetivo de cuantificar la energía eléctrica y calorífica utilizada por elaboración.
2. Insumos y su disposición. En esta sección se trata de identificar los distintos insumos que se utilizan para la elaboración de la cerveza, así como su origen, cantidad, métodos, procesos, principales desechos y su disposición.
3. Transporte de insumos. Se obtiene información sobre el proveedor de las materias primas, como su procedencia, así como la recurrencia en adquisición de insumos, el tipo de vehículo utilizado por parte del productor de cerveza artesanal, y el medio de transporte que se utilizó para que la mercancía llegase a destino, esto con la finalidad de cuantificar la huella de carbono para el transporte de materias primas.
4. Desinfección y limpieza. Se identificaron los principales productos utilizados para la desinfección y limpieza del equipo de producción y áreas productivas, así como las cantidades utilizadas y el agua requerida por proceso, con el objetivo de identificar los componentes de cada sustancia, conocer su composición química para medir la huella hídrica de su implementación.

5. Distribución. En esta sección se detalla la proporción de las distintas presentaciones de venta del producto, así como su distribución a nivel local, estatal, nacional e internacional y como se realiza dicha distribución, con el objetivo de cuantificar la huella de carbono por transporte.

3.2 Simulador para el cálculo de la huella de carbono e hídrica

El Simulador huella carbono cerveza artesanal (SHCCA) fue elaborado en el programa Microsoft Excel y Visual Basic, teniendo como objetivo la cuantificación de la huella hídrica y de carbono total generada por hectolitro de cerveza artesanal producido. La huella de carbono fue validada con los simuladores gratuitos de la Confederación Empresarial de Bizkaia (CEBEK, 2010), Entreprises Pour L'environnement (EPE, 2018), el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2020) y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2014). La huella hídrica fue validada utilizando la metodología de Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011).

Además, se muestra detalladamente las emisiones de cada proceso, con el propósito de identificar los procesos con mayores emisiones y efectuar los cambios necesarios para disminuir las huellas de cada cervecería. En la Tabla 7.1 (Anexo C) se muestran las fuentes de donde se tomaron los factores de emisión para la huella hídrica y de carbono. Imágenes del simulador pueden ser apreciadas en el Anexo B. Se compone de 7 pestañas principales, que son:

1. Datos generales de la cervecería

En esta sección se pide al usuario ingresar distintos datos de la cervecería, se subdivide en 4 partes.

- a. Parte 1. Equipo y energía requerida para la elaboración.

Para la parte del equipo se ingresan los datos de la capacidad del equipo de elaboración, las veces con las que se elabora cerveza semanalmente, los hectolitros producidos mensualmente. En la parte de energía se piden datos como la capacidad de cada bomba, potencia de cada equipo involucrado, las horas promedio en las que el equipo se utiliza semanalmente. Por último, el método de calentamiento de agua y/o (por ejemplo: energía eléctrica, gas natural, gas LP, entre otros), el tiempo que tarda en llegar a la temperatura deseada y en ebullición.

b. Parte 2. Insumos y su disposición.

En esta sección se pide al usuario ingresar el tipo de malta, lúpulo y levadura, la marca comprada y la cantidad utilizada por cada elaboración, así como la manera que esta llega a su destino (por ejemplo: barco, camión, avión), esto con el objetivo de conocer el lugar de origen y calcular la distancia de desplazamiento del producto. A su vez, se pide ingresar la cantidad de agua purificada utilizada para la elaboración para conocer parte de la huella hídrica directa del producto. Por último, se pide reconocer la manera por la cual el usuario dispone de los residuos sólidos orgánicos de la cervecería, ya sea por un tercero (por ejemplo: recolector de residuos de manejo especial registrado), sistema de recolección municipal, utilización como composta, o desecho por medio del sistema pluvial municipal. Esto nos brinda un panorama en el comportamiento ambiental de estas empresas y el cumplimiento o incumplimiento con ciertas normativas aplicables.

c. Parte 3. Desinfección y limpieza.

En esta sección se pide al usuario ingresar el tipo de desinfectante o limpiador que utiliza para las distintas áreas de producción, también se pide ingresar el total del agua utilizada para realizar dicha limpieza o desinfección. Esta sección fue elaborada para cuantificar el total de la

huella hídrica de las cervecerías, así como determinar si existe un tratamiento previo de sus aguas residuales antes de su introducción al sistema pluvial municipal.

d. Parte 4. Distribución.

En esta sección se pide al usuario a ingresar la parte proporcional de la presentación de su producto (barril, lata, botella retornable o no retornable), como es su distribución (local, estatal, nacional o internacional), como se realiza dicha distribución, el tipo de vehículo, el consumo promedio del mismo y el tipo de combustible.

2. Transporte de materia prima

En esta pestaña se reflejan los resultados obtenidos de la pestaña 1, nos indica el país de procedencia del producto, la distancia total calculada desde el origen del producto al destino. En esta sección se encuentra el resultado de los kilogramos de GEI emitidos por elaboración y anualmente. Finalmente se ilustra gráficamente la proporción con la que el transporte de los distintos insumos aporta emisiones al medio ambiente. Esto puede concientizar al usuario en adquirir productos locales o cercanos a su localidad.

3. Electricidad

En esta pestaña se reflejan los resultados obtenidos de la pestaña 1, nos indica los kWh utilizados por las bombas, así como por todos los equipos. En esta sección se muestra el total de emisiones de GEI y dividida proporcionalmente entre todos los distintos equipos que las cervecerías utilizan. En esta pestaña se agregó una opción para seleccionar distintas tecnologías productoras de energía, así como si esta es de baja, media o alta tensión, para que las cervecerías que tengan la opción de decidir el origen del suministro de energía eléctrica tengan el conocimiento de las emisiones que pueden lograr disminuir al optar por distintas tecnologías.

4. Consumo de gas.

En esta pestaña se reflejan los resultados obtenidos de los datos ingresados en la parte 1, dependientes de la parte 2, de la pestaña 1, esta nos indica el total de emisiones de GEI por cada paso de la elaboración (maceración, lavado, ebullición), y nos muestra que proceso contribuye en mayor medida a las emisiones de la producción. Esto cambia dependiendo de la energía utilizada (energía eléctrica, gas etc.) y si se cuenta con un precalentador de agua de gas LP.

5. Consumo de agua

En esta pestaña se muestran los resultados obtenidos de los datos ingresados en la parte 2 y 3 de la pestaña 1. Muestra las emisiones de GEI del consumo de agua y la huella hídrica directa de la producción. Los resultados se dividen en las emisiones provenientes del agua purificada requerida para la elaboración, el agua de enfriamiento (si esta no es reutilizada), el agua utilizada para la desinfección del equipo y la limpieza de áreas de producción. También se calcula la huella hídrica azul que es introducida en la producción, parte de la huella hídrica verde, que es la utilizada para la limpieza y el agua gris, que es el agua residual.

6. Transporte del producto

En esta pestaña se muestran los resultados obtenidos de los datos ingresados de la parte 4 de la pestaña 1. Se muestran los resultados de las emisiones de los vehículos utilizados por el transporte del producto terminado al cliente final o distribuidor, el porcentaje de las emisiones está dividido entre la cantidad total de vehículos utilizados y se incrementan o disminuyen dependiendo del rango de distribución del producto.

7. Resultados

En esta pestaña se muestra la sumatoria total de las emisiones de GEI de las pestañas 2 a la 7, se muestra el total anual por cervecería y por hectolitro de cerveza producida. También se calcula la huella hídrica total anual y por hectolitro de cerveza producida. En esta pestaña se muestra de manera detallada e ilustrada las emisiones de cada sección para brindar una comprensión extensa al usuario y visualizar posibles áreas de oportunidad para la reducción de sus emisiones, así como de su huella hídrica.

3.2.1 Huella de carbono

Para la cuantificación de la huella de carbono se implementó la metodología llamada PAS 2050, la cual indica que la ecuación para cuantificar la huella de carbono del producto es la suma de todos los materiales, energía y residuos en todas las actividades del ciclo de vida de un producto multiplicado por su factor de emisión (BSI, 2008). Para esto primero se identificaron las etapas para la elaboración de la cerveza artesanal como se muestra en la Figura 3.1. Se clasificaron en: la obtención de las materias primas, que incluye el cultivo de la cebada y el lúpulo, la reproducción de la levadura; la fabricación de los envases como botellas, latas y barriles; el proceso de malteado de los granos; el transporte de insumos; el consumo de energía eléctrica, gas licuado de petróleo, agua potable, agua purificada utilizados en la planta productora de cerveza. Las emisiones de gases de efecto invernadero se expresan como gramos de dióxido de carbono equivalente por hectolitro de cerveza (GEI/hl).

En primer lugar, se realizaron encuestas para conocer los kilogramos de insumos, la energía eléctrica, el consumo de gas LP, el agua utilizada, el tipo de envase y la distribución del producto. Todos los factores se dividieron bajo la unidad de medida de un hectolitro de cerveza. Para calcular

la cantidad de insumos por hectolitro y las emisiones de los mismos se utilizaron las siguientes ecuaciones (Cengel et al., 2019; BSI, 2008):

$$M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) = \frac{m_{insumo}}{V_{total}} \left(\frac{kg_{insumo}}{hl_{total}} \right) \quad (1)$$

$$HC_{insumo,n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{kg} \right) \quad (2)$$

$$HC_{total \text{ insumos}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = \sum HC_{insumo,x} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \sum HC_{insumo,y} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \dots \sum HC_{insumo,n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) \quad (3)$$

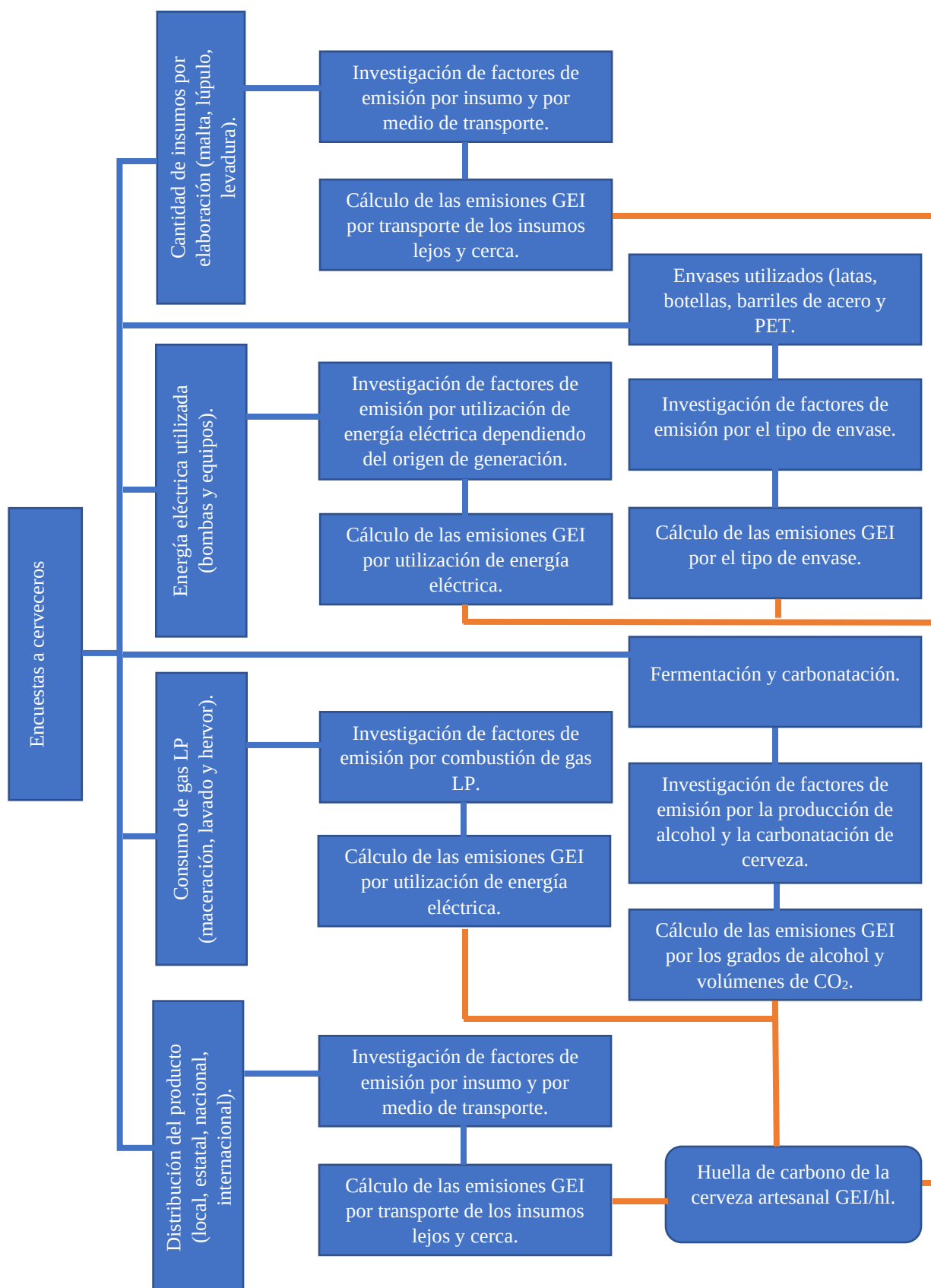


Figura 3.1 Diagrama de factores para la cuantificación de la huella de carbono.

Después se identificaron los principales proveedores de insumos para la elaboración de cerveza y se calculó la distancia entre su ubicación y la ciudad de Tijuana con la ecuación matemática de Haversine o semiverseno (Gellert et al., 1989):

$$\delta^{\circ}(km) = \arccos[\sin(lat_1) * \sin(lat_2) + \cos(lat_1) * \cos(lat_2) * \cos(lon_2 - lon_1)]$$

Teniendo la distancia entre ambos lugares se identificó el lugar más cercano y más lejano para los insumos principales de la cerveza que son la malta, el lúpulo y la levadura. Se tomaron en cuenta los principales transportes como camión, tren, barco y avión, dejando abierta la opción de múltiples proveedores del mismo insumo. Con esto se cuantificaron las emisiones del transporte de los insumos utilizando las siguientes ecuaciones (BSI, 2008):

$$HC_{transporte,n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{l_{combustible}} \right) * d \left(\frac{km}{kg} \right) * e \left(\frac{l_{combustible}}{km} \right) \quad (4)$$

$$HC_{total \text{ transporte}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = \sum HC_{transporte,x} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \sum HC_{transporte,y} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \dots \sum HC_{transporte,n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) \quad (5)$$

Se cuantificaron las emisiones de la energía eléctrica considerando los principales equipos utilizados en la elaboración de cerveza como bombas, molinos, refrigeradores y cuartos fríos, se dejaron las opciones abiertas para incluir cualquier otro equipo y también para seleccionar la fuente de generación de la energía. Para el cálculo de la energía eléctrica utilizada por hectolitro y las emisiones de la misma se utilizaron las siguientes ecuaciones (Cengel et al., 2019; BSI, 2008):

$$E_{bimestral}(kWh_{bimestral}) = P(kW) * t \left(\frac{h_{día}}{días_{bimestre}} \right) \quad (6)$$

$$E_{\text{equipo}} \left(\frac{kWh}{hl} \right) = \frac{E_{\text{bimestral}}}{V_{\text{bimestral}}} \left(\frac{kWh_{\text{bimestral}}}{hl_{\text{bimestral}}} \right) \quad (7)$$

$$HC_{\text{equipo},n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = E_{\text{equipo}} \left(\frac{kWh}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{kWh} \right) \quad (8)$$

$$HC_{\text{total energía eléctrica}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = \sum HC_{\text{equipo},x} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \sum HC_{\text{equipo},y} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \dots \sum HC_{\text{equipo},n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) \quad (9)$$

Se cuantificaron las emisiones del consumo de gas LP considerando las principales etapas de calentamiento de agua para la elaboración de cerveza como la maceración, lavador y hervor, suponiendo una temperatura inicial del agua de 20°C, se dejaron las opciones abiertas para incluir cualquier otro tipo de combustible. Para el cálculo del gas LP utilizado por hectolitro y las emisiones del mismo se utilizaron las siguientes ecuaciones (Cengel et al., 2019; BSI, 2008):

$$Q(kJ) = M_{\text{agua}}(kg) * C \left(4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right) * \Delta T (^{\circ}C) \quad (10)$$

$$M_{\text{proceso},n}(kg) = \frac{Q(kJ)}{Pc \left(\frac{kJ}{kg} \right)} \quad (11)$$

$$M_{\text{gas LP}}(kg) = \sum M_{\text{proceso},x}(kg) + \sum M_{\text{proceso},y}(kg) + \dots \sum M_{\text{proceso},n}(kg) \quad (12)$$

$$M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) = \frac{m_{gas}}{V_{total}} \left(\frac{kg_{gas}}{hl_{totales}} \right) \quad (13)$$

$$HC_{total\ gas\ LP} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg\ GEI}{kg} \right) \quad (14)$$

Se cuantificaron las emisiones del consumo de agua considerando el agua para la elaboración de cerveza, enfriamiento, desinfección y limpieza. Para el cálculo del agua utilizada por hectolitro y las emisiones de la misma se utilizaron las siguientes ecuaciones (Cengel et al., 2019; BSI, 2008):

$$M_{hl} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \frac{V_{agua}}{V_{cerveza}} \left(\frac{m^3_{agua}}{hl_{cerveza}} \right) \quad (15)$$

$$HC_{consumo\ agua,n} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = M_{hl} \left(\frac{m^3}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg\ GEI}{m^3} \right) \quad (16)$$

$$HC_{total\ agua} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = \sum HC_{agua,x} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) + \sum HC_{agua,y} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) + \dots \sum HC_{agua,n} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) \quad (17)$$

Se cuantificaron las emisiones de la fermentación y la carbonatación para la elaboración de cerveza. Para el cálculo del alcohol y CO₂ utilizados por hectolitro y las emisiones de la misma se utilizaron las siguientes ecuaciones (Cengel et al., 2019; BSI, 2008):

$$M_{alcohol} \left(\frac{kg}{hl} \right) = \frac{\% alcohol\ cerveza * V (m^3) * \rho_{cerveza} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{V_{total}(hl)} \quad (18)$$

$$HC_{fermentación} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = M_{alcohol} \left(\frac{kg}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg\ GEI}{kg} \right) \quad (19)$$

$$M_{CO_2} \left(\frac{kg}{hl} \right) = \frac{\rho_{CO_2} \left(\frac{kg}{m^3} \right) * V_{CO_2, deseado} (m^3)}{V_{total}(hl)} \quad (20)$$

$$HC_{carbonatación} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = M_{CO_2} \left(\frac{kg}{hl} \right) \quad (21)$$

$$HC_{total\ elaboración} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) = HC_{fermentación} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) + HC_{carbonatación} \left(\frac{kg\ GEI}{hl} \right) \quad (22)$$

Se cuantificaron las emisiones de la distribución del producto terminado, se dejaron opciones abiertas para introducir el tipo de vehículo utilizado, el tipo de combustible y su eficiencia. Para el cálculo de la distribución del producto por hectolitro y las emisiones de la misma se utilizaron las siguientes ecuaciones (BSI, 2008):

$$d_{\text{distribución producto (DP),n}} \left(\frac{km}{hl} \right) = \frac{km_{\text{mensuales}}}{hl_{\text{mensuales}}} \quad (23)$$

$$HC_{\text{distribución producto (DP),n}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = V_{hl} (hl) * FE_{HC} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{l_{\text{combustible}}} \right) * d \left(\frac{km}{hl} \right) * e \left(\frac{l_{\text{combustible}}}{km_{\text{recorridos}}} \right) \quad (24)$$

$$HC_{\text{total DP}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = \sum HC_{DP,x} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \sum HC_{DP,y} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \dots \sum HC_{DP,n} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) \quad (25)$$

Finalmente, se cuantificaron las emisiones de los envases utilizados para la venta del producto terminado, considerando los principales envases que fueron latas, botellas y barriles. Para el cálculo de la cantidad de envases utilizados por hectolitro y las emisiones de los mismos se utilizaron las siguientes ecuaciones (BSI, 2008):

$$Envases \left(\frac{pz}{hl} \right) = \frac{Envases \text{ totales (pz)} * \% \text{ Envasado}}{V_{total} (hl)} \quad (26)$$

$$HC_{\text{envase,n}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = Envases \left(\frac{pz}{hl} \right) * FE_{HC} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{kg} \right) * M_{\text{envase}} (kg) \quad (27)$$

$$HC_{\text{total envases}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = \sum HC_{\text{envase,x}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \sum HC_{\text{envase,y}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) + \dots \sum HC_{\text{envase,n}} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) \quad (28)$$

Para la obtención de las huellas de carbono directa e indirecta se sumaron los factores de la siguiente manera (BSI, 2008):

$$HC_{directa} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = HC_{energía eléctrica} + HC_{gas LP} + HC_{agua} + HC_{elaboración} + HC_{DP} \quad (29)$$

$$HC_{indirecta} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = HC_{insumos} + HC_{transporte} + HC_{envases} \quad (30)$$

Por último, para el cálculo de la huella de carbono total se sumaron todas las emisiones calculadas de cada uno de los procesos involucrados para la elaboración de la cerveza (BSI, 2008).

$$HC_{total} \left(\frac{kg \text{ GEI}}{hl} \right) = HC_{energía eléctrica} + HC_{gas LP} + HC_{agua} + HC_{elaboración} + HC_{DP} + HC_{insumos} + HC_{transporte} + HC_{envases} \quad (31)$$

4.21.1 Huella hídrica

Para la cuantificación de la huella de carbono se implementó la metodología propuesta por Water Footprint Network (Mekonnen y Hoekstra, 2010), las cuales cuantifican el agua utilizada en todas las etapas del ciclo de vida de un producto como se destaca en la Figura 3.2. Se consideró la huella verde como toda aquella involucrada en la elaboración de los insumos necesarios para la elaboración de cerveza (malta, lúpulo y levadura) así como los envases (barriles, botellas, latas), la huella azul como toda aquella que se queda en el producto final y la huella gris que es toda el agua utilizada para la elaboración de la cerveza (limpieza, desinfección y enfriado de mosto).

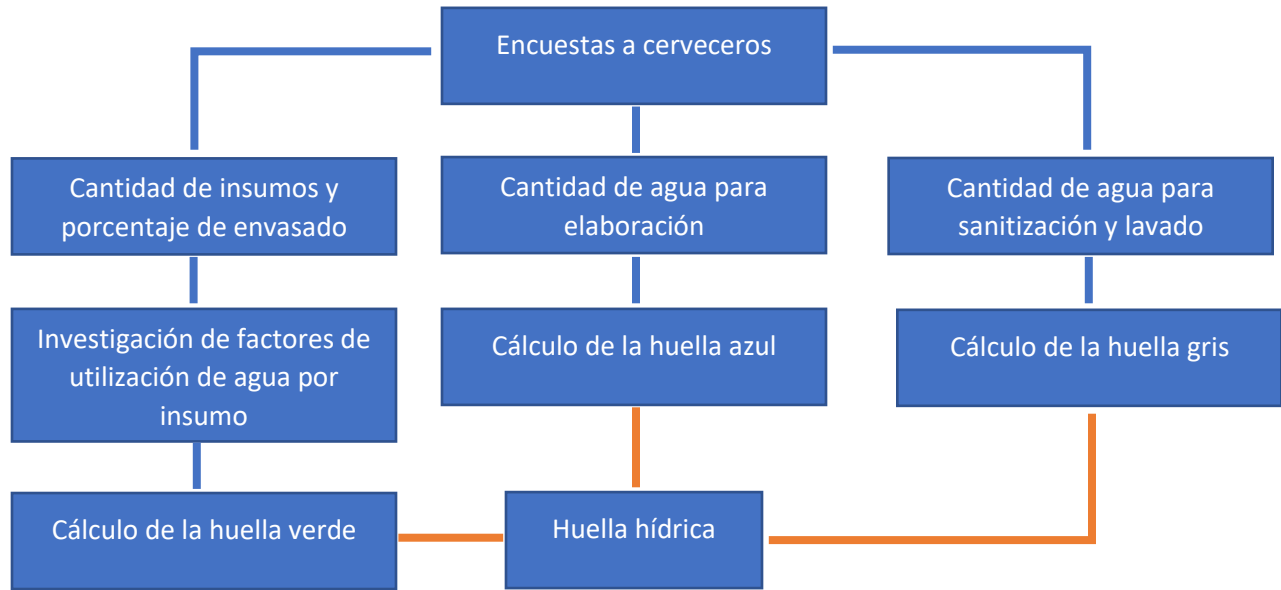


Figura 3.2 Factores para la cuantificación de la huella hídrica.

En primer lugar, se realizaron encuestas para determinar la cantidad de insumos que cada cervecería requería por elaboración, el agua requerida para la elaboración de la cerveza, la desinfección y limpieza de los equipos y áreas de producción. Con esto se calcularon los kilogramos por hectolitro de cerveza con las siguientes ecuaciones (Hoekstra et al., 2011):

$$M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) = \frac{m_{insumo}}{V_{total}} \left(\frac{kg_{insumo}}{hl_{total}} \right) \quad (32)$$

$$HH_{insumo,n} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = M_{hl} \left(\frac{kg}{hl} \right) * FHH \left(\frac{m^3}{kg} \right) \quad (33)$$

$$HH_{total\ insumos} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \sum HH_{insumo,x} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + \sum HH_{insumo,y} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + \dots \sum HH_{insumo,n} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (34)$$

También se solicitó información acerca del porcentaje de envasado del producto, para poder obtener el número de latas, botellas retornables y no retornables eran utilizadas por hectolitro de cerveza con estas ecuaciones (Hoekstra et al., 2011):

$$Envase \left(\frac{pz}{hl} \right) = \frac{Envases\ totales\ (pz_{total}) * \% \text{ Envasado}}{V_{total}(hl)} \quad (35)$$

$$HH_{envases,n} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = Envase \left(\frac{pz}{hl} \right) * FHH \left(\frac{m^3}{ton} \right) * M_{envase} (ton) \quad (36)$$

$$HH_{total\ envases} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \sum HH_{envase,x} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + \sum HH_{envase,y} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + \dots \sum HH_{envase,n} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (37)$$

También se recabo información de cuántos litros de agua son utilizados por elaboración, con este dato se obtuvieron los litros de agua purificada por hectolitro de cerveza con la siguiente ecuación (Hoekstra et al., 2011):

$$HH_{Elaboración} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \frac{V_{agua}}{V_{total}} \left(\frac{m^3_{agua}}{hl_{total}} \right) \quad (38)$$

Finalmente, se obtuvo información de los litros utilizados para la sanitización y el lavado del equipo de producción, con estos datos se obtuvieron los litros de agua potable por hectolitro de cerveza (Hoekstra et al., 2011).

$$HH_{Limpieza} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \frac{V_{agua\ limpieza}}{V_{total}} \left(\frac{m^3_{agua\ limpieza}}{hl_{total}} \right) \quad (39)$$

$$HH_{desinfección} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = \frac{V_{agua\ desinfección}}{V_{total}} \left(\frac{m^3_{agua\ desinfección}}{hl_{total}} \right) \quad (40)$$

Para obtener la huella hídrica verde se sumó la huella hídrica de los insumos y de los envases (Hoekstra et al., 2011):

$$HH_{verde} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = HH_{total\ insumos} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + HH_{total\ envases} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (41)$$

Para obtener la huella hídrica azul se contempló el agua purificada utilizada directamente en la elaboración de la cerveza (Hoekstra et al., 2011).

$$HH_{azul} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = HH_{Elaboración} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (42)$$

Por último, para obtener la huella hídrica gris se sumaron el agua de la limpieza y la sanitización (Hoekstra et al., 2011).

$$HH_{gris} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = HH_{limpieza} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + HH_{sanitización} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (43)$$

Para obtener la huella hídrica total se sumaron las huellas hídricas verde, azul y gris (Hoekstra et al., 2011).

$$HH_{total} \left(\frac{m^3}{hl} \right) = HH_{verde} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + HH_{azul} \left(\frac{m^3}{hl} \right) + HH_{gris} \left(\frac{m^3}{hl} \right) \quad (44)$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El cuestionario de la encuesta tenía como objetivo identificar las características de producción y comercialización que realizan las cervecerías artesanales de Tijuana. Esto con el fin de ser utilizadas en el simulador para el cálculo de la huella de carbono e hídrica. Por ejemplo, el reactivo de la forma de presentación y comercialización del producto provee información para calcular la huella de carbono en las etapas de comercialización (ejemplo: fabricación de la botella, latas y barriles), transporte del producto al punto de venta y, por último, la disposición de los residuos generados en el proceso.

4.1 Producción anual de las cervecerías encuestadas

La Figura 4.1 muestra la producción anual declarada de las cervecerías encuestadas. La mayor producción declarada fue en la cervecería 2 con un estimado de 2160 hectolitros al año y la de menor producción fue la cervecería 5 con 48 hectolitros anual. De acuerdo a la North Wilston Brewing (North Willston Brewing Company, 2020), la clasificación de las cervecerías encuestadas es la siguiente: 40% (6 cervecerías) están dentro de la clasificación de pico-cervecerías (capacidad entre 1 a 3 hectolitros), 53% (8 cervecerías) son nano-cervecerías (capacidad entre 3 a 7.5 hectolitros) y 7% (una cervecería) en la clasificación de micro-cervecería (capacidad entre 7.5 a 30 hectolitro).

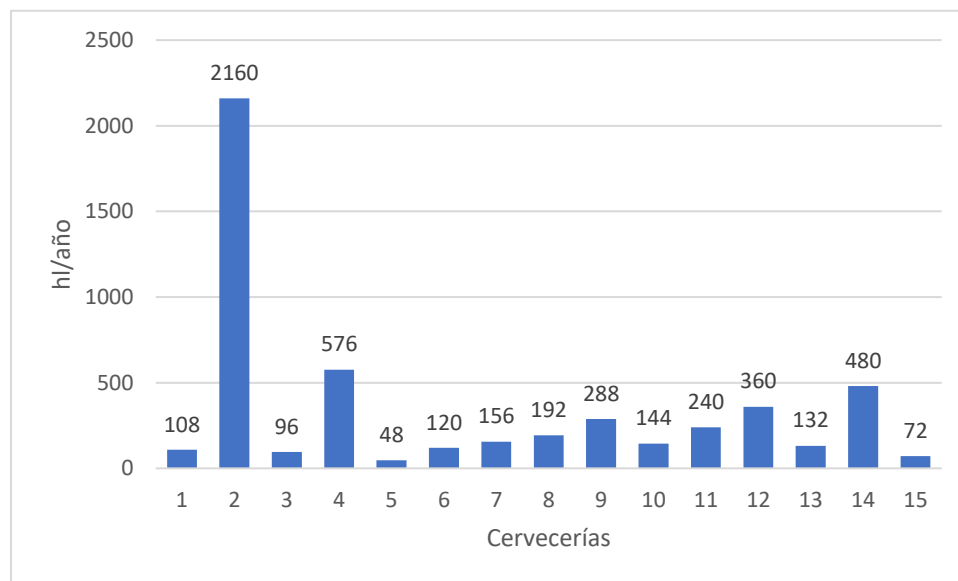


Figura 4.1. Producción anual declarada de las cervecerías encuestadas.

4.2 Presentación y distribución

4.2.1 Presentación del producto

La Figura 4.2 muestra la proporción de como las cervecerías envasan su producto. El 66% (10 cervecerías) venden únicamente el producto en barril. Sin embargo, algunas de las cervecerías declararon vender el producto en diferentes presentaciones. Por ejemplo, la cervecería 2 embotella el 90% de su producto y la cervecería 5 embotella el 40%, en botellas retornables. La cervecería 9 embotella el 10% de su producción y la cervecería 15 embotella el 60%. La única cervecería que enlata el 1% de su producto fue la cervecería 14. En todas estas cervecerías el resto de su producción es vendida en barriles.

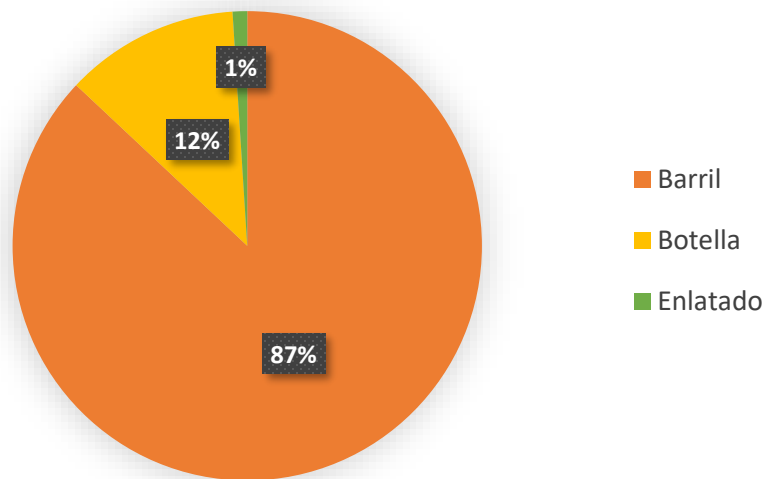


Figura 4.2. Porcentaje de presentación para la venta de la producción total que utilizan las cervecerías encuestadas.

4.2.2 Distribución

La Figura 4.3 muestra el porcentaje de la forma de distribución de las cervecerías encuestadas. El 13% (2 cervecerías) vende su producto únicamente en su establecimiento, el 33% (5 cervecerías) venden su producto únicamente en mercados locales como restaurantes y bares y el restante de las cervecerías (8 cervecerías) dividen la venta de su producción en Baja California y otros estados de la república, con un porcentaje de ventas en el estado entre un 5 y 30%, y 3% al 80% fuera del estado de Baja California, siendo la de mayor porcentaje la cervecería 2 con el 80%. Los resultados de la encuesta indican que actualmente son pocas las cervecerías que incursionan a mercados fuera del estado, como se indicará más adelante, esto podría reflejarse en una mayor huella de carbón debido al transporte del producto a otras entidades ya que, la cantidad de producto enviado es proporcionalmente menor a su producción y la distancia recorrida es la misma.

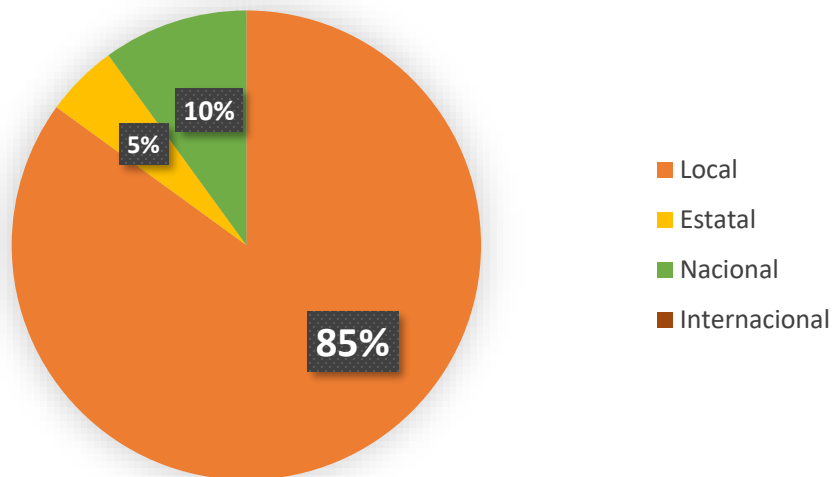


Figura 4.3. Porcentaje de distribución de la producción total que utilizan las cervecerías encuestadas.

4.3 Disposición de residuos orgánicos

4.3.1 Malta

De acuerdo a la Figura 4.4, el 6% (una cervecería) utiliza servicios de recolección de una compañía autorizada, el 53% (8 cervecerías) contestó que entregan el bagazo de la malta a un particular para la alimentación de ganado, el 26% (4 cervecerías) manifestó que el bagazo era dispuesto en los residuos sólidos urbanos para su recolección por el servicio municipal y finalmente, el 13% restante (2 cervecerías) incorporan estos residuos a sistemas de composta. Cabe destacar que las cervecerías que no disponen los residuos de malta con una compañía de residuos de manejo especial posiblemente incumplen con lo establecido en la NOM-161-SEMARNAT-2011 (véase en Tabla 2.2).

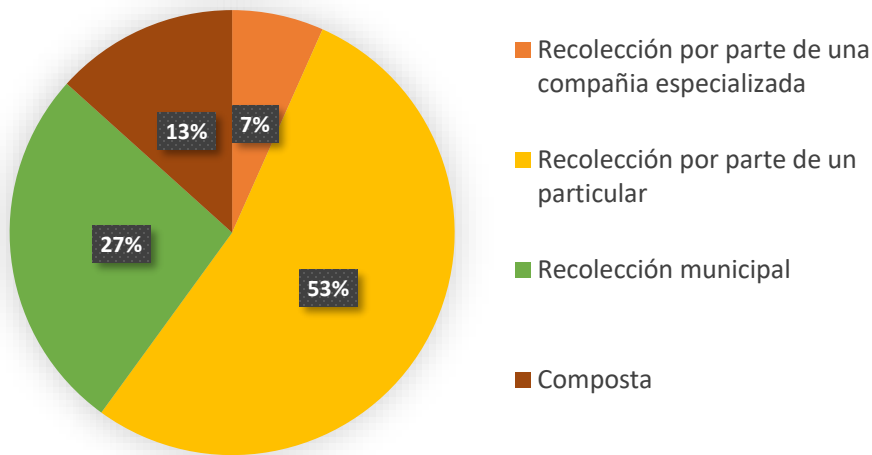


Figura 4.4. Porcentaje de disposición de residuos de malta de las cervecerías encuestadas.

4.3.2 Lúpulo

De acuerdo a la Figura 4.5, ninguna de las cervecerías dispone el lúpulo residual mediante una compañía recolectora de residuos de manejo especial, el 13% (2 cervecerías) disponen de este residuo en mediante el servicio de recolección municipal de residuos sólidos, el 6% (una cervecería) utiliza este residuo para incorporarlo a un sistema de composta y finalmente, el 80% (12 cervecerías) disponen de este residuo en el sistema de drenaje sanitario. Cabe destacar que posiblemente estén incumplimiento con los requerimientos de la NOM-161-SEMARNAT-2011 (véase en Tabla 2.2). En cuanto a la levadura, se encontró que ninguna cervecería dispone de la levadura residual con una compañía recolectora de residuos de manejo especial, el 100% de las cervecerías disponen de este residuo en el sistema de drenaje sanitario.

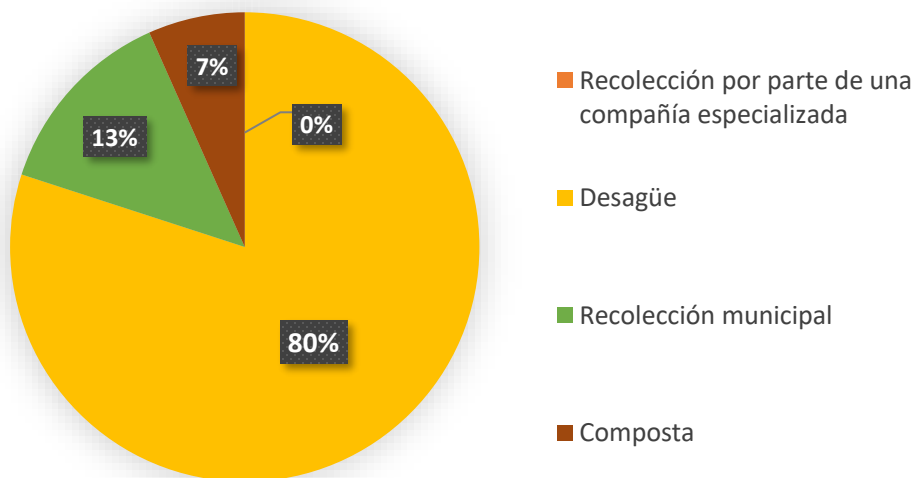


Figura. 4.5 Porcentaje de disposición de residuos de lúpulo de las cervecerías encuestadas.

4.4 Huella de carbono del ciclo de vida de la cerveza artesanal

4.4.1 Producción anual en comparación con la capacidad instalada

En la Figura 4.6 se muestra la capacidad estimada instalada de producción de las cervecerías, así como su producción anual estimada. En esta se observa que la cervecería 2 cuenta con la mayor capacidad instalada de producción (7020 hectolitros anuales) y una producción anual real de 2160 hectolitros anuales. De la misma manera, la cervecería 15 es la de menor capacidad instalada de producción (105 hectolitros anuales), pero con una producción anual estimada de 72 hectolitros. La cervecería con menor producción es la 5 con 48 hectolitros anuales. Los datos obtenidos muestran que las cervecerías trabajan aproximadamente del 15 al 95% de su capacidad máxima instalada de producción. Esto podría indicar que el mercado de la cerveza artesanal en Tijuana no es todavía estable para una producción constante.

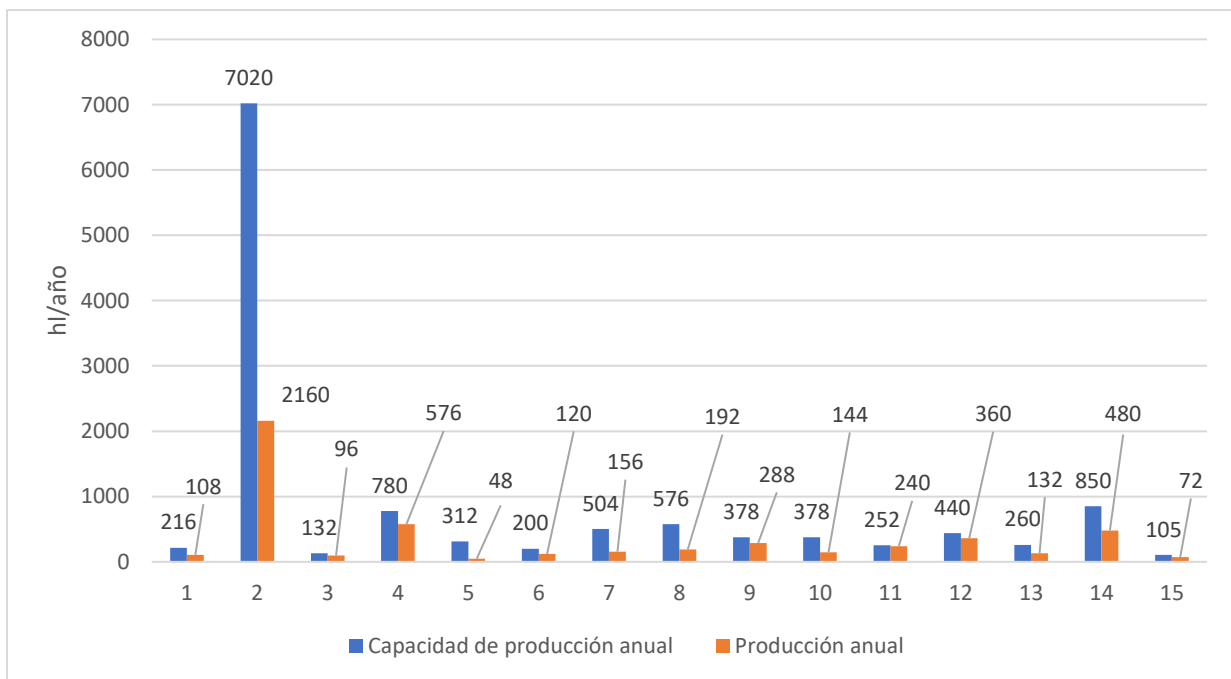


Figura 4.6. Capacidad instalada de producción y producción anual real.

4.4.2 Energía eléctrica mensual comparada con la producción mensual

La Figura 4.7 muestra los gastos de energía eléctrica estimados (kWh/mes) y la producción mensual estimada (hl/mes). Se puede observar que la cervecería 2 tiene los mayores consumos eléctricos con 7711.40 kWh/mes, pero también la mayor producción, con 180 hectolitros mensuales. La cervecería 5 tiene los menores consumos de energía con 326.32 kWh/mes, a su vez es la cervecería con menor producción con 4 hectolitros mensuales. Dependiendo del proceso y del tamaño de la cervecería los equipos que consumen energía eléctrica varían entre las cervecerías, por ejemplo, la cervecería 2 tiene una pasteurizadora eléctrica, bombas de mayor capacidad, fermentadores de mayor capacidad y cuartos fríos, lo que implica un mayor gasto de energía eléctrica, pero con una producción que varía entre aproximadamente 2 a 45 veces más que el resto de las otras cervecerías.

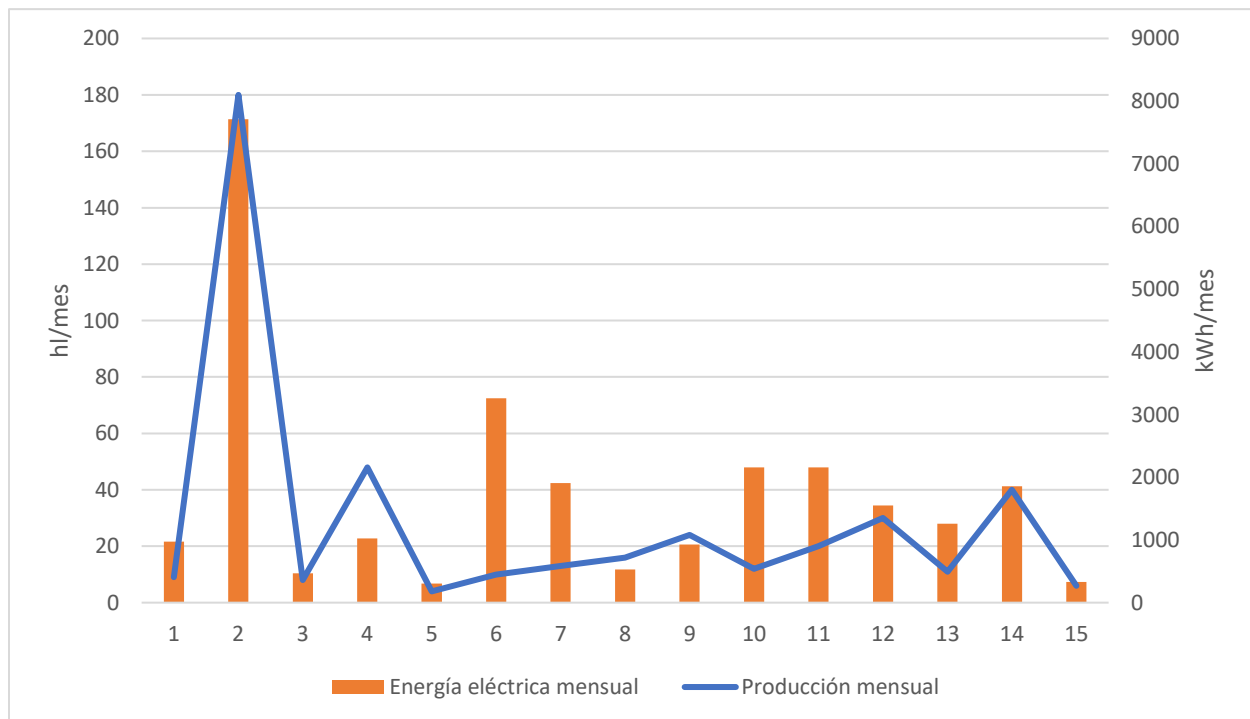


Figura 4.7. Energía eléctrica mensual consumida y producción mensual de cerveza.

4.4.3 Energía eléctrica utilizada para la elaboración de un hectolitro

La Figura 4.8 muestra los gastos de energía eléctrica por hectolitro producido de cada cervecería. Se puede observar que la mayor cantidad de consumo de energía eléctrica en las cervecerías fue la refrigeración (cuartos fríos y refrigeradores) cuyo intervalo fue de 9.71 a 144.8 kWh/hl, con consumos mínimos debido a la molienda de grano cuyos valores fueron entre 0.06 a 0.18 kWh/hl. La cervecería 6 tuvo el más alto consumo de energía eléctrica por hectolitro producido con 326.08 kWh/hl y la cervecería 4, la de menor consumo con 21.3 kWh/hl. Al comparar los consumos eléctricos (kWh/hl) con las emisiones de GEI (kg de GEI/hl) del resto de las cervecerías, los consumos de estas se sitúan por debajo de los 50 kg de GEI/hl de cerveza siendo esto posible por el uso de refrigeración interna de los fermentadores en el caso de la cervecería 4 y 8, para las cervecerías 5 y 15 la falta de un sistema de refrigeración para la fermentación de la cerveza reduce considerablemente el consumo de energía, pero esto solamente lo hace favorable para reducir sus emisiones ya que, la cerveza en un medio no controlado puede sufrir de defectos por los cambios de la temperatura ambiente. En el caso de la cervecería 2 se encuentra con emisiones por hectolitro de 10 kg de GEI/hl ya que, si bien el consumo por elaboración es de 213 kWh, su producción anual es la mayor a todas las cervecerías por lo que la sitúa en la cervecería con menores emisiones por hl.

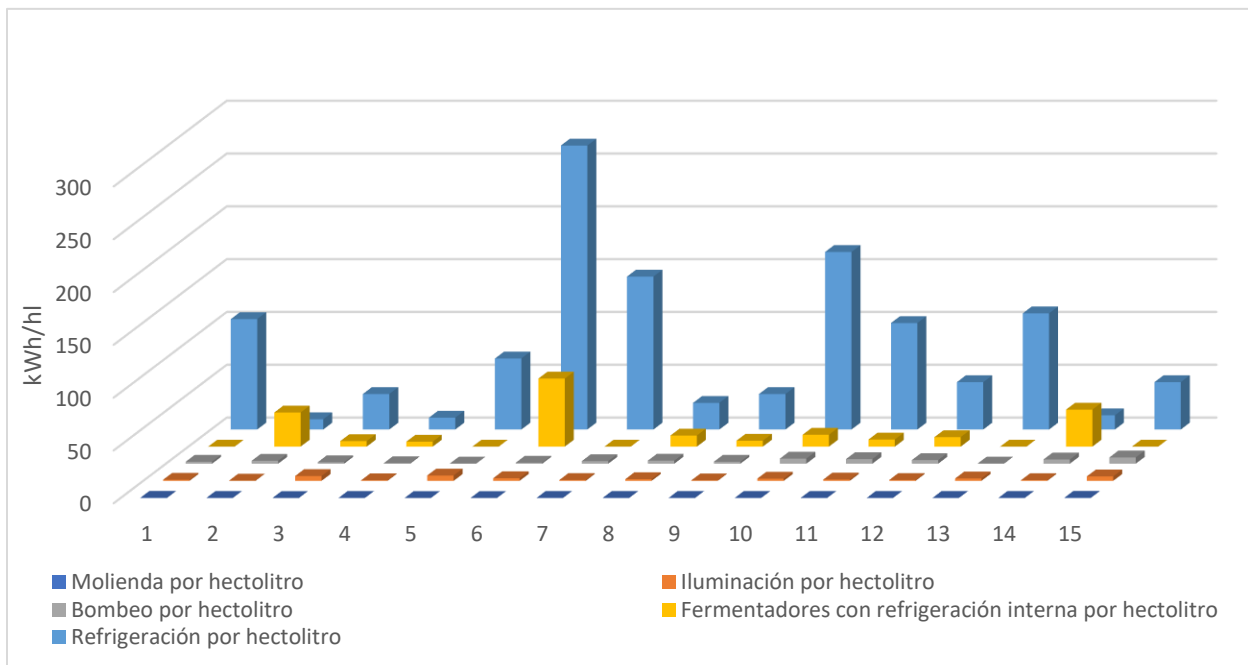


Figura. 4.8 Energía eléctrica utilizada por equipo para la elaboración de un hectolitro.

4.4.4 Energía eléctrica por hectolitro en comparación con la producción mensual

La Figura 4.9 muestra el consumo de energía eléctrica por hectolitro comparada con la producción mensual. Se podría pensar que aquellas cervecerías con mayor producción podrían ser las que consumieran una mayor cantidad de energía eléctrica por hectolitro producido. Sin embargo, de acuerdo con los cálculos del simulador se observó que algunas de las cervecerías con menor producción tienen un consumo mayor por hectolitro. Por ejemplo, en las cervecerías 1, 7 y 13 que no cuentan con un sistema de refrigeración interna, es decir fermentadores con temperatura controlada, utilizan una habitación con aire acondicionado para controlar la temperatura de la fermentación, por lo cual aumentan sus consumos de energía eléctrica. Otros casos son las cervecerías 6 y 10, las cuales tienen cuartos fríos con una capacidad mayor a su producción, lo que provoca que sus gastos de energía eléctrica sean los mayores por hectolitro (326 y 179 kWh/hl). La baja producción de estas cervecerías provoca que sus consumos energéticos de refrigeración por hectolitro sean altos, ya que equipos como cuartos fríos raramente son desconectados. Cabe mencionar, que esta emisión de GEI se calcula tomando en cuenta los factores de emisión para generación de energía eléctrica basados en datos publicados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2016).

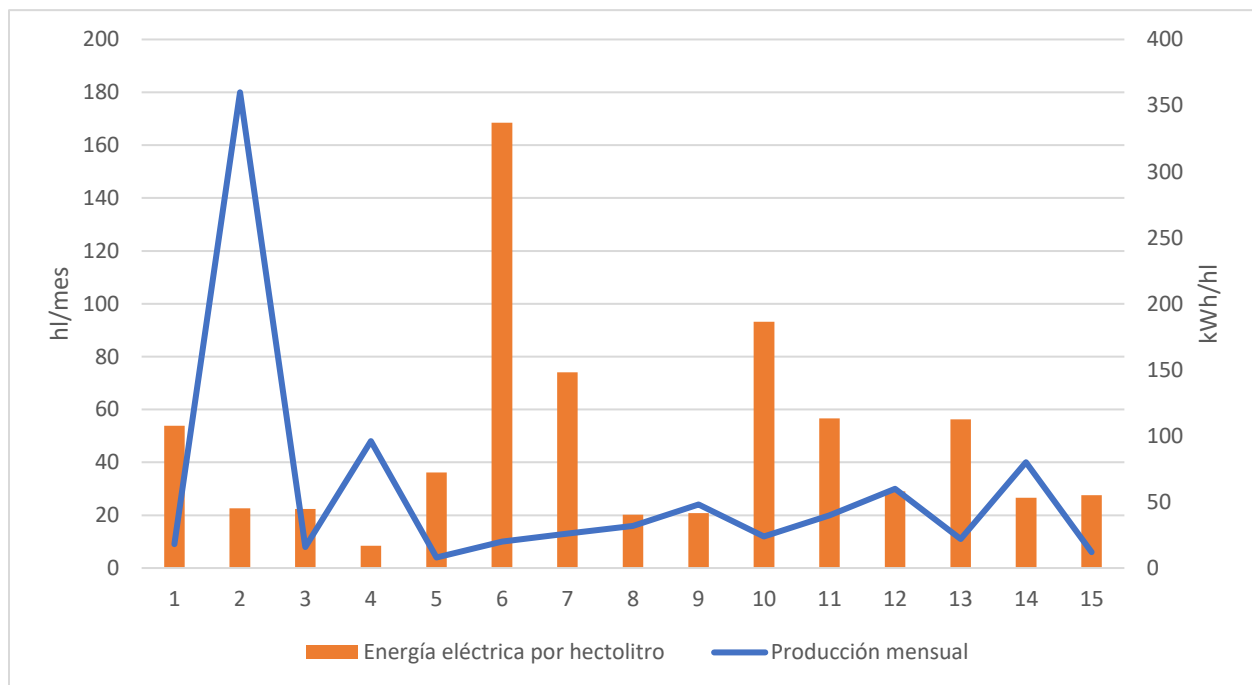


Figura 4.9. Consumo de energía eléctrica por hectolitro y producción mensual en las cervecerías encuestadas.

4.4.5 Emisiones de GEI por la producción de insumos

La Figura 4.10 muestra los kilogramos de insumos, malta, lúpulo y levadura por hectolitro (kg/hl) contra las emisiones de GEI (kg de GE/hl) por hectolitro de cerveza. Podemos observar que la cantidad de malta utilizada en las cervecerías es entre 17.5 kg y 37.33 kg por hectolitro, la cantidad de lúpulo entre 0.26 kg y 1.66 kg por hectolitro y la levadura entre los 0.04 y 0.11 kg por hectolitro. La cervecería 2 tiene las mayores emisiones de GEI con 22.47kg por hectolitro debido a que utiliza una mayor cantidad malta y la cervecería 5 tiene las menores emisiones con 10.6 kg de GEI/hl, siendo el promedio total de GEI emitidos 15.33 kg. Cabe mencionar, que esta emisión de GEI se calcula tomando en cuenta la energía necesaria para la producción de los insumos basados en datos publicados en diferentes fuentes (Altuna et al., 2012; AstraZeneca, 2016; COFALEC, 2018; Shin y Searcy, 2018; Spaulding, y Mcveigh, 2013). Podemos observar que la cantidad de malta y lúpulo utilizados dependen de los estilos de cerveza, donde se debe considerar el porcentaje de alcohol y las unidades de amargor, que cada cervecería produce.

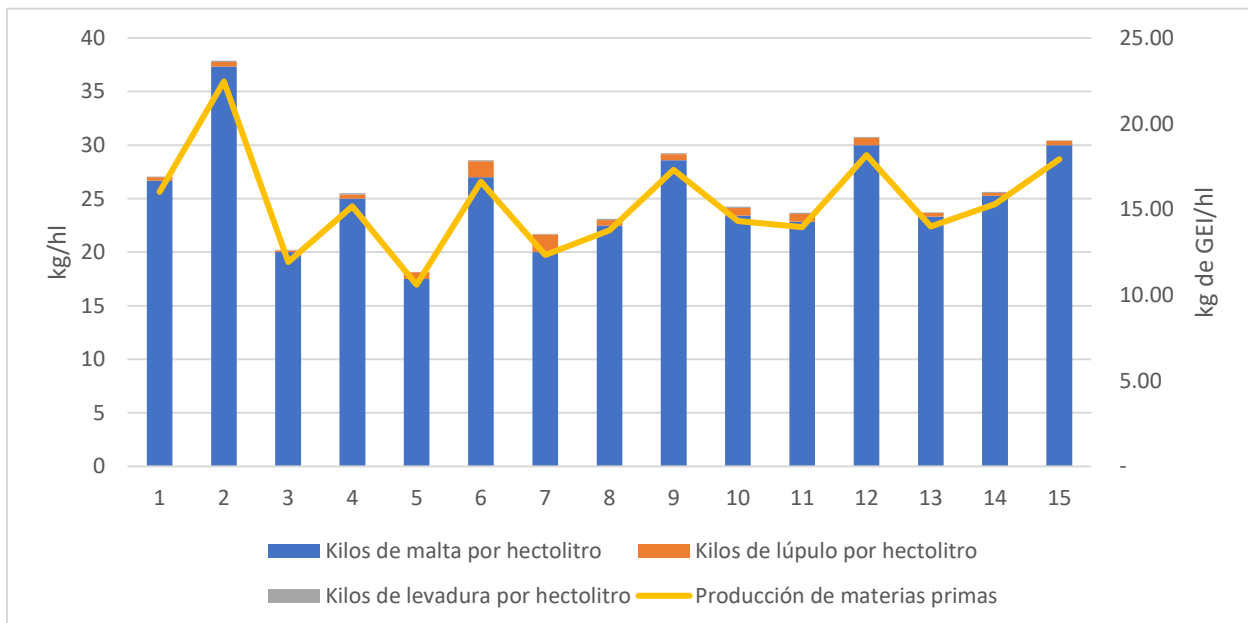


Figura 4.10. Insumos utilizados para la elaboración de un hectolitro de cerveza y las emisiones de GEI por producción.

4.4.6 Emisiones de GEI por transporte de insumos

La Figura 4.11 muestra los kilogramos de insumos por hectolitro (kg/hl) contra los kilogramos de emisiones de GEI (kg de GEI/hl). Se muestran dos escenarios, el primero representado por la línea amarilla, muestra un escenario de emisiones cuando se utilizan insumos de proveedores localizados a una mayor distancia: malta (Marca: Viking, ubicación: Polonia, distancia aproximada: 9565 km); lúpulo (Marca: Willamette Valley, ubicación: Eslovaquia. Distancia aproximada: 10098 km) y levadura (marca: Cooper, país: Australia. Distancia aproximada: 13196 km). En el segundo escenario, representado por la línea azul, muestra el caso contrario de proveedores más cercanos: malta (marca: Great Western, ubicación: Estado de Washington, Estados Unidos. Distancia aproximada: 1600 km). lúpulo (marca: Yakima Chief Hops, ubicación: Estado de Washington, Estados Unidos. Distancia aproximada: 2000 km) y levadura (marca: White Labs, ubicación: California, Estados Unidos. Distancia aproximada: 46.74 km). Se puede apreciar que las cervecerías con mayor consumo de lúpulo son las mismas cuyas emisiones de GEI son más elevadas en comparación a otras con consumos menores del mismo insumo. La cervecería 2 cuenta con el mayor aporte de emisiones con una mínima de 12.4 kg y una máxima de 81.5 kg de GEI, mientras que la cervecería 5 se encuentra por debajo de la media con 8.3 kg a 39.8 de emisiones de GEI.

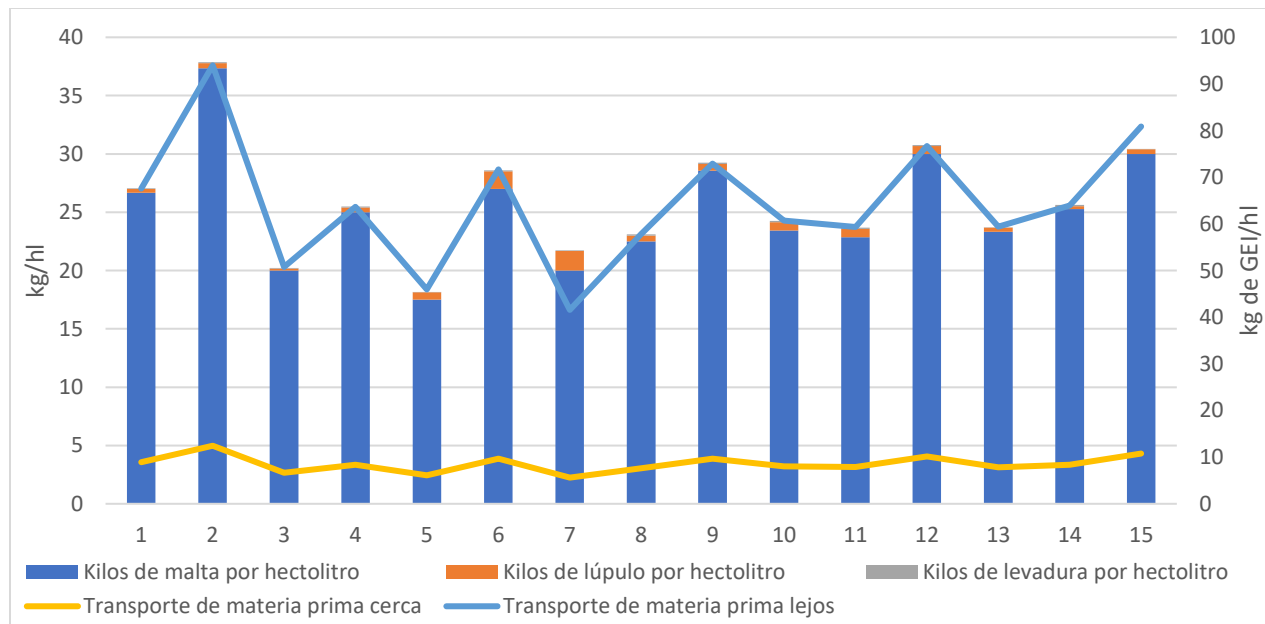


Figura 4.11. Insumos utilizados para la elaboración de un hectolitro y emisiones de GEI máximas y mínimas de su transporte.

4.4.7 Emisiones de GEI con respecto al gas utilizado en cada etapa de elaboración

La Figura 4.12 muestra los kilogramos de gas LP consumidos por hectolitro de cerveza producida (kg/hl) con respecto a las emisiones de GEI (kg de GEI/hl). La cervecería con un mayor consumo y emisiones fue la cervecería 12 con un consumo de 5.93 kg/hl y emisiones de 17.8 kg de GEI/hl, cabe destacar que el tiempo promedio de hervor del mosto de esta cervecería es de 1.5 horas, comparado con el promedio de otras cervecerías que es de 1 hora. La cervecería 4 es la de menor consumo (1.71 kg/hl) y emisiones de GEI (5.13 kg de GEI/hl), podemos destacar que esta cervecería cuenta con un precalentador, el cual produce agua con una temperatura de salida igual a la temperatura deseada para la maceración. Con este precalentador de gas únicamente se requiere incrementar la temperatura para el agua de lavado ($>80^{\circ}\text{C}$). Las cervecerías 3, 4, 8, 10, 11 y 14 utilizan precalentadores de agua, lo cual explicaría su bajo consumo de gas LP, con un consumo medio de 1.5 kg/hl. Los consumos para la maceración y el lavado se sitúan entre los 0.62 y 3.64 kg/hl, mientras que los consumos de gas para el hervor se sitúan entre los 1.08 y 2.7 kg/hl. Cabe mencionar, que esta emisión de GEI se calcula tomando en cuenta los factores de emisión de la utilización de gas LP basados en datos publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2014).

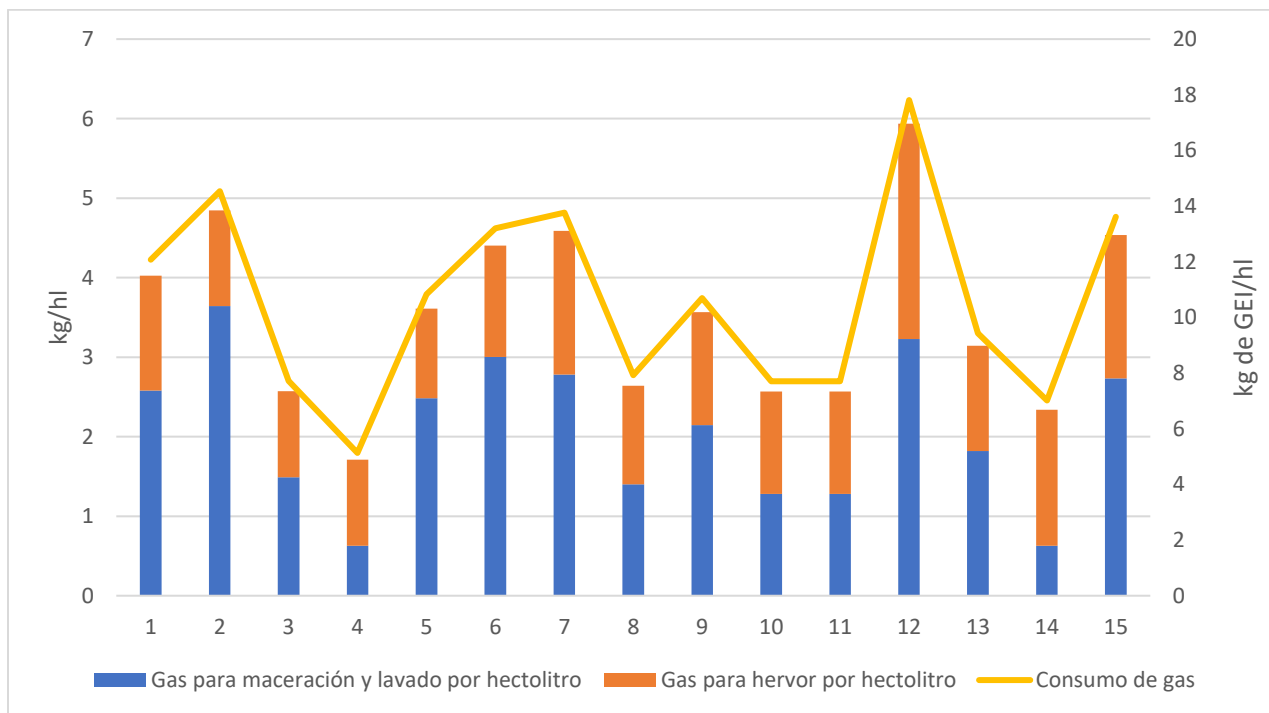


Figura 4.12. Consumos de gas para los distintos procesos de calentamiento y emisiones de GEI.

4.4.8 Emisiones de GEI con respecto a la presentación del producto

La Figura 4.13 muestra el porcentaje de la manera de comercialización de las cervecerías y la cantidad generada de gases GEI/hl. Podemos observar que las cervecerías que venden su producto en botella no retornable presentan un aumento significativo en las emisiones. La cervecería 2 que embotella el 90% de su producto presenta las más altas emisiones con 82.35 kg de GEI/hl, seguido por la cervecería 15, que embotella el 60% de su producto y cuya emisión fue de 55.04 kg de GEI/hl. Por último, la cervecería 5 embotella el 40% de su producción en envases retornables y tiene emisiones de 2.88 kg de GEI/hl. Por otro lado, Las cervecerías que comercializan su producción únicamente en barriles de acero inoxidable tienen emisiones de 0.028 a 0.172 kg de GEI/hl, esto depende de su producción anual y el número de barriles que posean. En general, se observa que aquellas cerveceras que comercializan su producto con botellas no retornables tienen una huella de carbono aproximada de 57 veces más alta que usando barriles acero inoxidable, tomando en cuenta que un barril producido equivale aproximadamente a 169 botellas de vidrio.

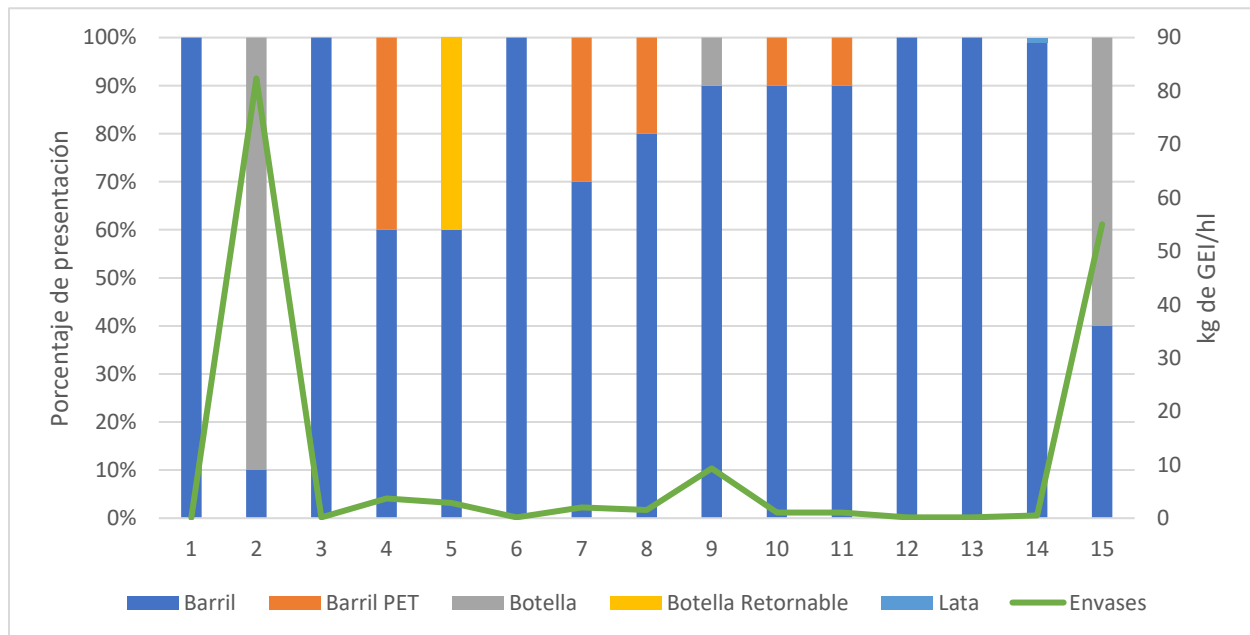


Figura 4.13. Porcentaje de presentación de producción de cada cervecería y las emisiones de GEI.

4.4.9 Emisiones de GEI con respecto a la distribución del producto

La Figura 4.14 muestra el porcentaje del mercado de distribución de las cervecerías y las emisiones de GEI. La cervecería 4 vende el 40% de su producción a otros estados, generando las más altas emisiones con 91.6 kg de GEI/hl. Por otro lado, la cervecería 14 comercializa todo su producto en establecimientos locales (100%) por lo que sus emisiones son mucho menores (0.75 kg de GEI/hl). Las cervecerías 1 y 3 venden sus productos únicamente en su establecimiento por lo que no aporta emisiones por transporte. Existe una problemática en cuanto a la distribución de los productos de la cervecería y como esto aumenta sus emisiones, podemos observar el caso de la cervecería 4, aunque la mayoría de su producto se vende en el mercado local esta tiene una mayor huella de carbono en comparación a la cervecería 2, debido a que el volumen de producción es menor, por lo que, se distribuye una menor cantidad de producto en una misma distancia.

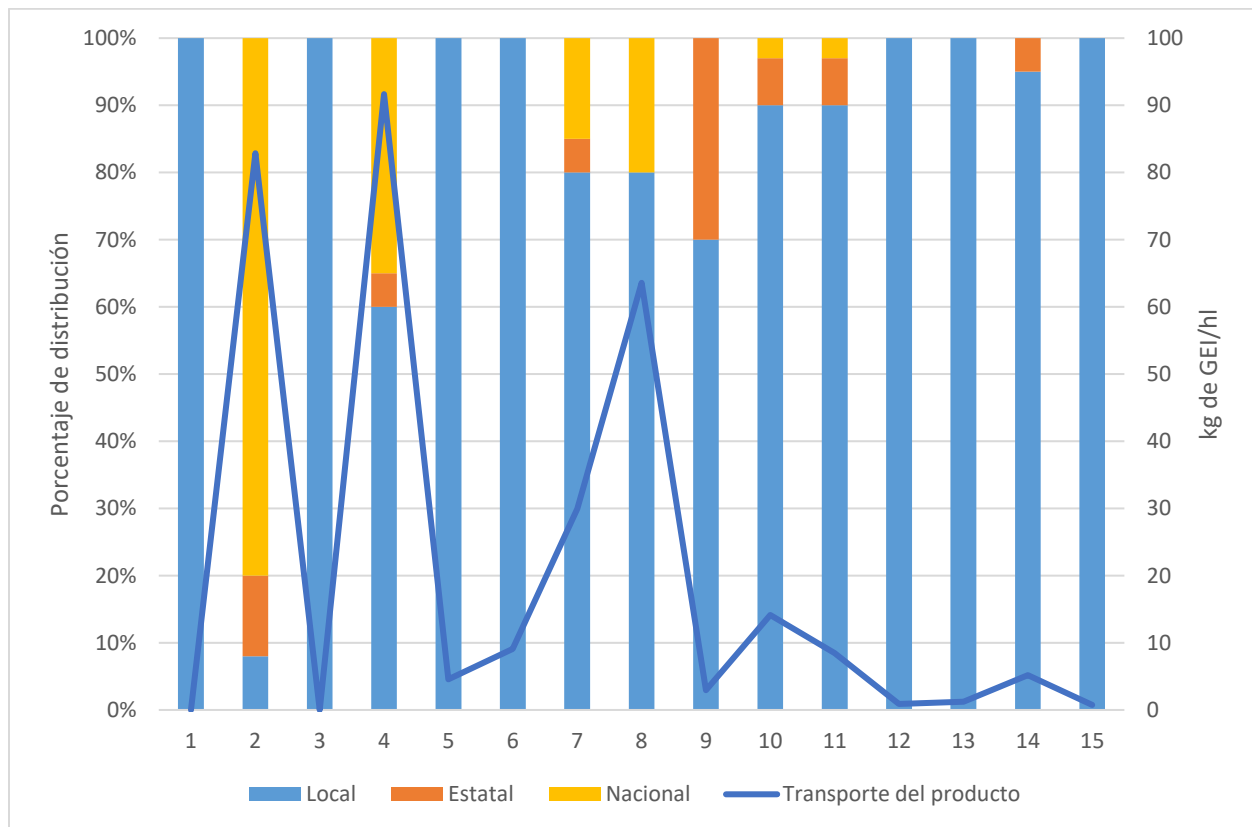


Figura 4.14. Porcentaje de distribución de la producción de cada cervecería y las emisiones de GEI.

4.4.10 Emisiones de GEI directas

De acuerdo con la Figura 4.15, se observa que el rubro de consumos energía de eléctrica es la actividad que más aporta al total de las emisiones directas entre 10 a 205.1 kg GEI /hl, seguido del transporte del producto con emisiones entre los de 0.75 a 91.6 kg de GEI/hl y de gas entre 5.13 a 17.8 kg de GEI/hl. Las emisiones menores fueron la carbonatación y fermentación, con una media de 0.12 kg de GEI/hl y el consumo de agua entre 0.8 a 2.4 kg de GEI /hl. La cervecería con mayores aportes fue la cervecería 6 con 228.4 kg de GEI/hl y la de menores emisiones fue la cervecería 3 con 34.1 kg de GEI/hl.

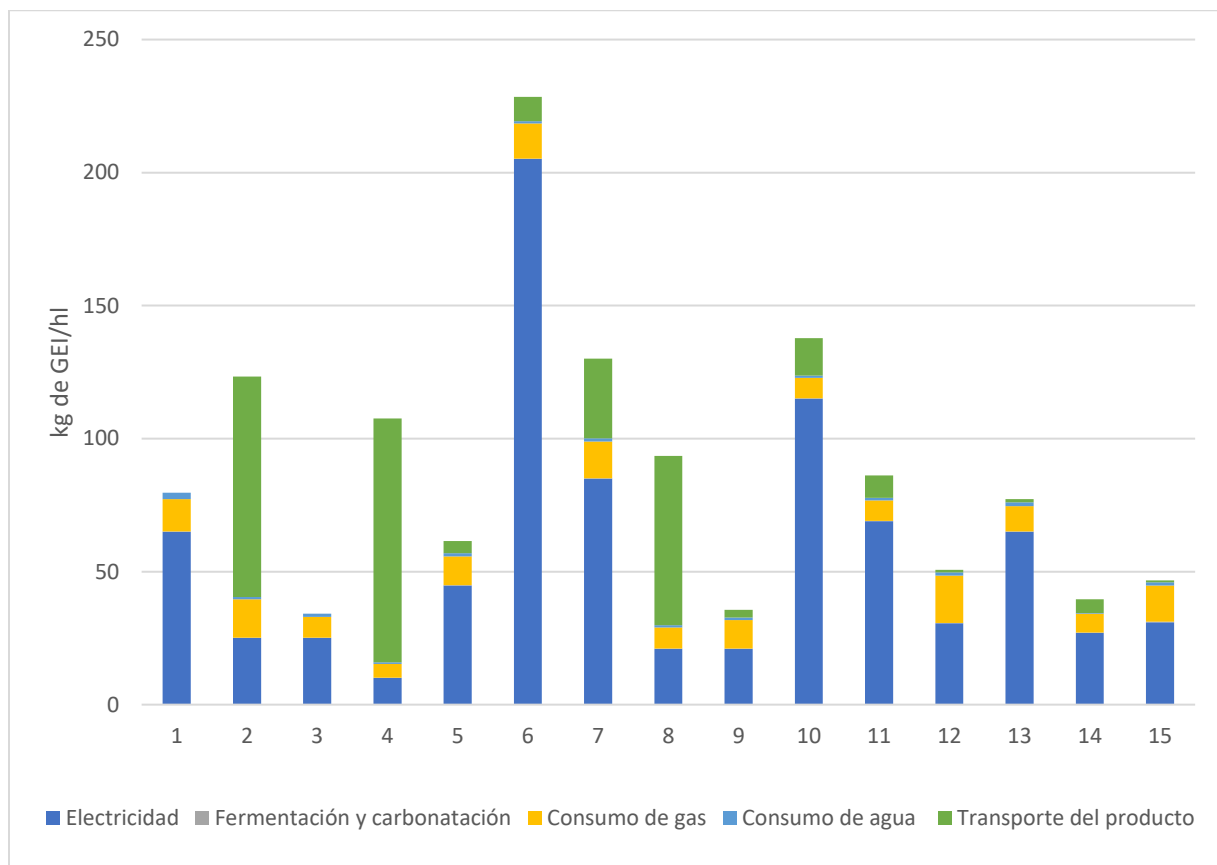


Figura 4.15. Emisiones de GEI directas para la elaboración de un hectolitro de cerveza.

4.4.11 Emisiones de GEI indirectas

La Figura 4.16 muestra las emisiones de GEI indirectas en la elaboración de cerveza artesanal. Se puede observar que los mayores aportes al total de emisiones de GEI son debido al transporte de la materia prima lejana, las cuales tuvieron un intervalo entre 45.5 y 87.3 kg de GEI/hl. Por otro lado, los valores más bajos de emisiones indirectas de GEI, se observaron en la producción de materia prima con 10.6 a 22.47 kg de GEI/hl. La cervecería 2 genera emisiones entre 117.52 a 192.12 kg de GEI/hl, mientras que en la cervecería 3, generó las menores emisiones entre 18.63 a 57.4 kg de GEI/hl. Se puede observar que adquiriendo las materias primas de lugares más cercanos (ver apartado 4.4.6) se pueden reducir las emisiones hasta un 85%.

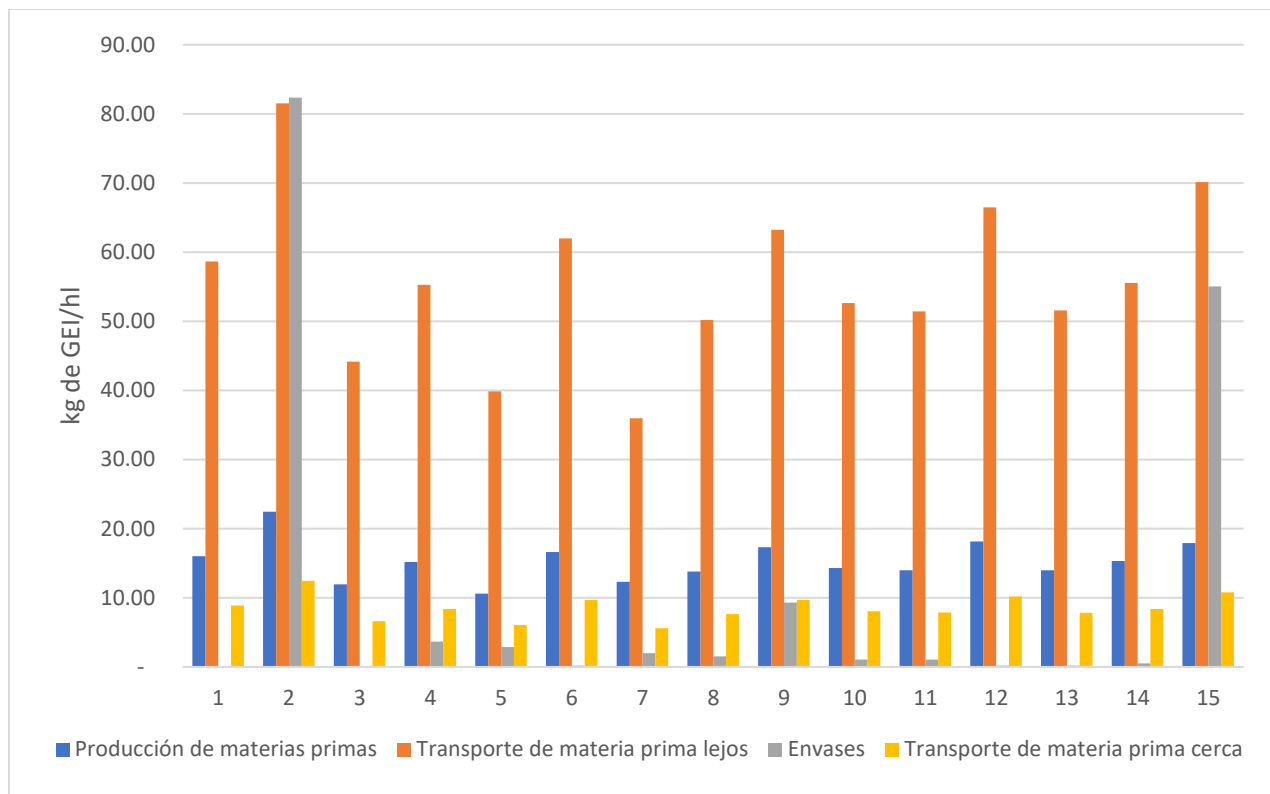


Figura 4.16. Emisiones de GEI indirectas para la elaboración de un hectolitro de cerveza.

4.4.12 Emisiones por variables de producción de las cervecerías

La Figura 4.17 muestra los aportes de cada cervecería a las distintas variables consideradas de emisión para la elaboración de un hectolitro de cerveza. Se puede observar que, en fermentación y carbonatación, al igual que en la parte de transporte de materias primas, los aportes son significativamente parecidos. Esto porque la proporción de materias primas por hectolitro es similar en cada cervecería. En los consumos de electricidad dependerá de los equipos con los cuales cuentan las cervecerías. La cervecería 6 tiene las mayores emisiones en esta categoría, debido a que cuentan con un cuarto frío mayor a la capacidad necesaria. En el rubro de los envases, se puede observar que las cervecerías que venden su producto principalmente en barril tienen los menores aportes a las emisiones, caso contrario de las cervecerías que embotellan su producto en presentaciones no retornables como la cervecería 2 y la 15.

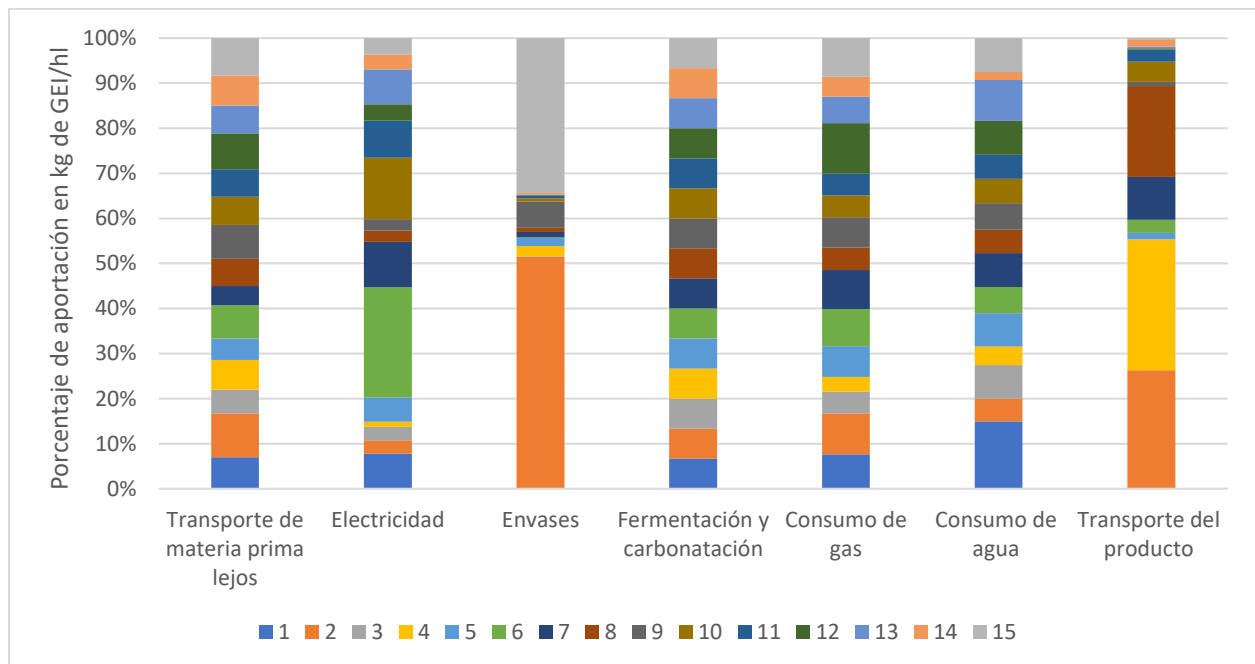


Figura 4.17. Porcentaje de aportación de cada cervecería a las principales emisiones de GEI.

4.4.13 Porcentaje de generación de GEI por actividad cuando se toma en cuenta la ubicación más lejana y la más cercana de los proveedores de insumos.

La Figura 4.18 muestra los porcentajes en la generación de GEI por actividad cuando se toma en cuenta la ubicación más lejana del proveedor de insumo (malta, levadura y lúpulo). Para este caso, se puede observar que el consumo de energía eléctrica es la actividad que más aporta a las emisiones de las cerveceras (55 a 66%). En segundo lugar, el transporte de materias primas (19 a 55%), por último, es el consumo de gas (12 a 49%).

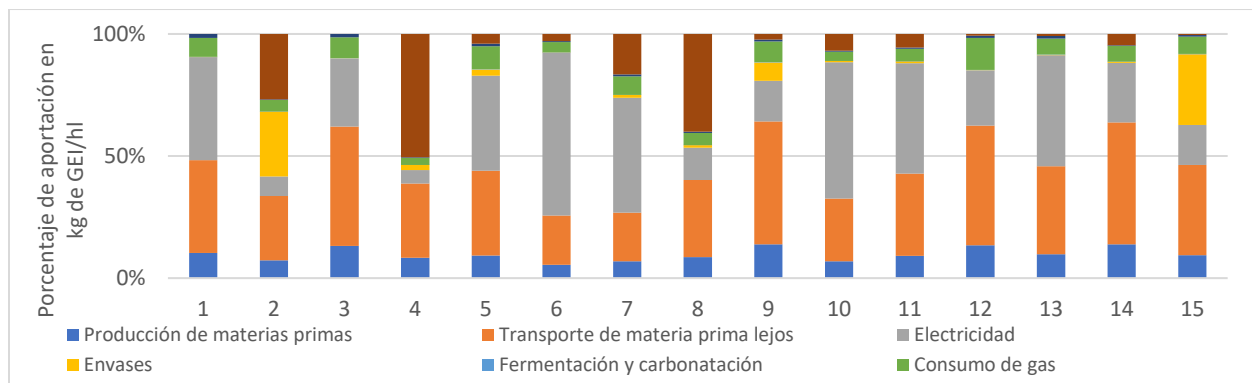


Figura 4.18. Porcentaje de generación de gases GEI por hectolitro por actividad cuando se toma en cuenta las ubicaciones más lejanas de los insumos.

De la misma manera, en la Figura 4.19 se muestra el porcentaje de generación de GEI por hectolitro de las actividades cuando se toma en cuenta las ubicaciones más cercanas de los insumos. Se observa que el rubro de transporte de insumos se reduce a un intervalo del 1 al 3% del total de las emisiones de las cervecerías. Lo que se traduce en una disminución de hasta 7 veces menos en esta actividad.

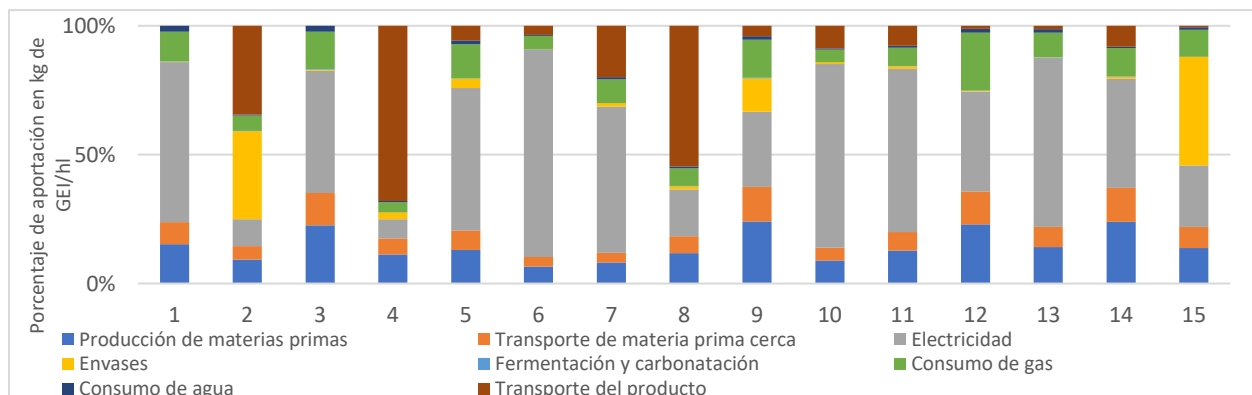


Figura 4.19. Porcentaje de aportación por actividad a la huella de carbono mínima de la elaboración de un hectolitro de cerveza.

4.4.14 Huella de carbono mínima y máxima de la elaboración de un hectolitro de cerveza artesanal en Tijuana.

La Figura 4.20 nos muestra la huella de carbono total calculadas de las cervecerías artesanales de Tijuana por hectolitro de cerveza elaborada. La huella de carbono más alta se encontró en la cervecería 7 con un valor máximo de 754 kg GEI/hl y una mínima de 664 kg GEI/hl. En la cervecería 3 se obtuvieron las emisiones más bajas con una máxima de 91 kg GEI/hl y una mínima de 52 kg GEI/hl. En relación con las huellas mínimas y máximas existe una diferencia del 7.03 al 26% si los insumos fuesen adquiridos con proveedores con una ubicación más cercanas al lugar de elaboración.

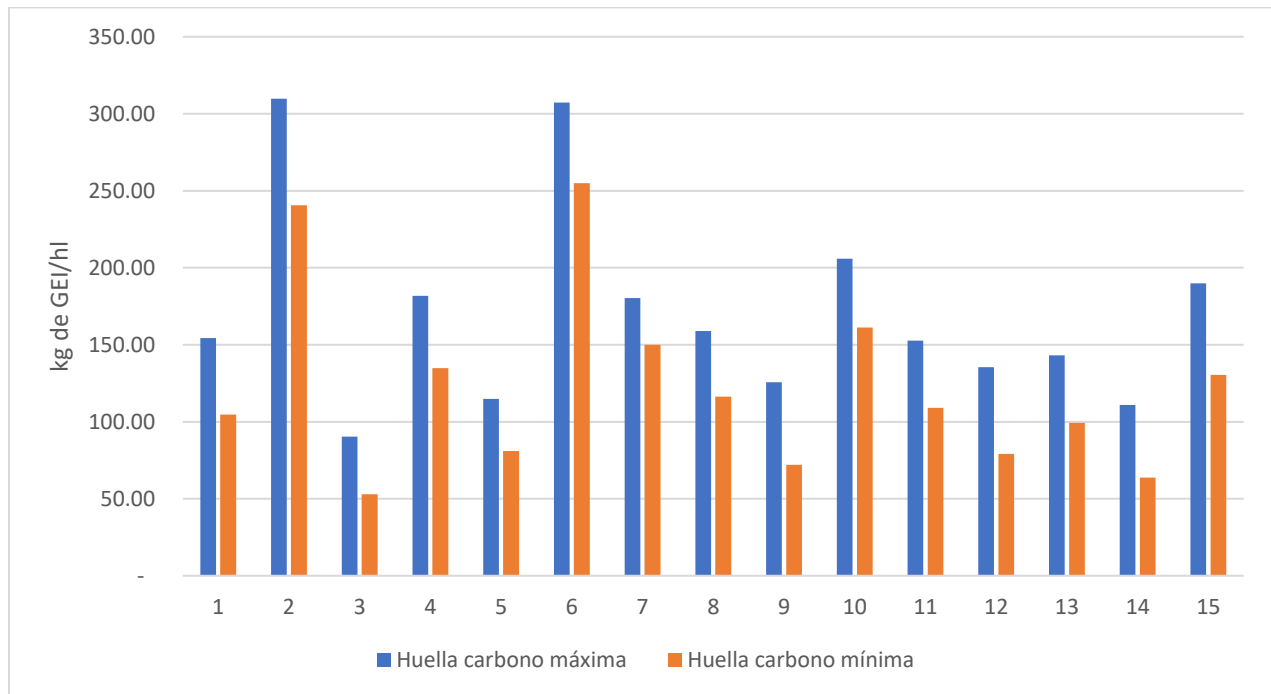


Figura 4.20. Huella de carbono mínima y máxima de la elaboración de un hectolitro de cerveza.

4.5 Huella hídrica

4.5.1 Porcentaje de tipo de huellas hídricas

La Figura 4.21 muestra el porcentaje de la huella hídrica dividida en sus tres categorías (verde, azul y gris). Podemos observar que la huella verde representa en promedio el 99% de la huella hídrica total, con valores aproximados de 55 a 69 m³/hl. La huella azul tiene valores de 0.1 a 0.2 m³/hl y la huella gris tiene valores de 0.12 a 0.72 m³/hl. La cervecería 2 tuvo la mayor huella hídrica con 129 m³/hl, mientras que la cervecería 4 tuvo la menor huella hídrica con 63 m³/hl. Podemos destacar que el 26% de las cervecerías (4 cervecerías) no recirculan el agua de enfriado utilizando de 0.25 a 0.5 m³/hl para enfriar el mosto, aumentando el monto de sus huellas hídricas.

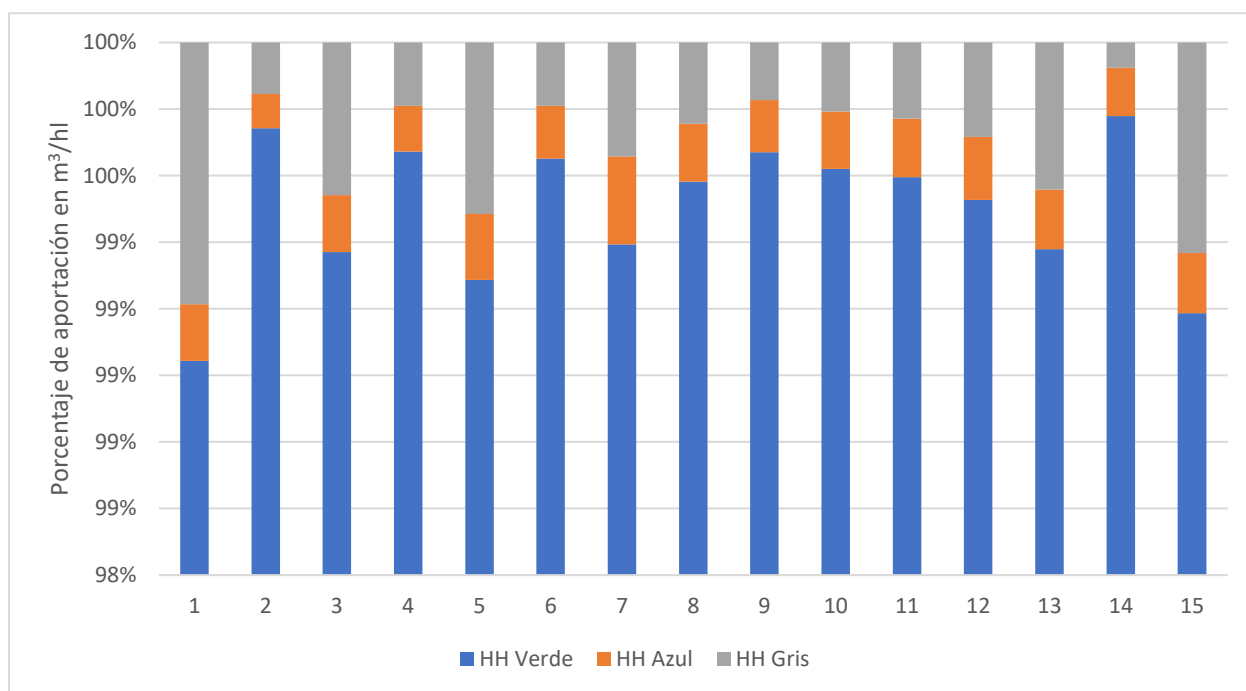


Figura 4.21. Porcentaje de aportación de los distintos tipos de huella hídrica para la elaboración de un hectolitro de cerveza.

4.5.2 Huella hídrica verde de los insumos

La Figura 4.22 muestra el porcentaje en masa (malta, lúpulo y levadura) por hectolitro contra el consumo de agua para su producción por hectolitro. La cervecería con mayor huella hídrica calculada se observó en la cervecería 2 con 129 m³, debido a que el producto de esta cervecería es de mayor porcentaje de alcohol (10% Vol Alc), lo cual implica una mayor cantidad de malta para la producción. La cervecería 5 es la de menor huella verde con 62 m³.

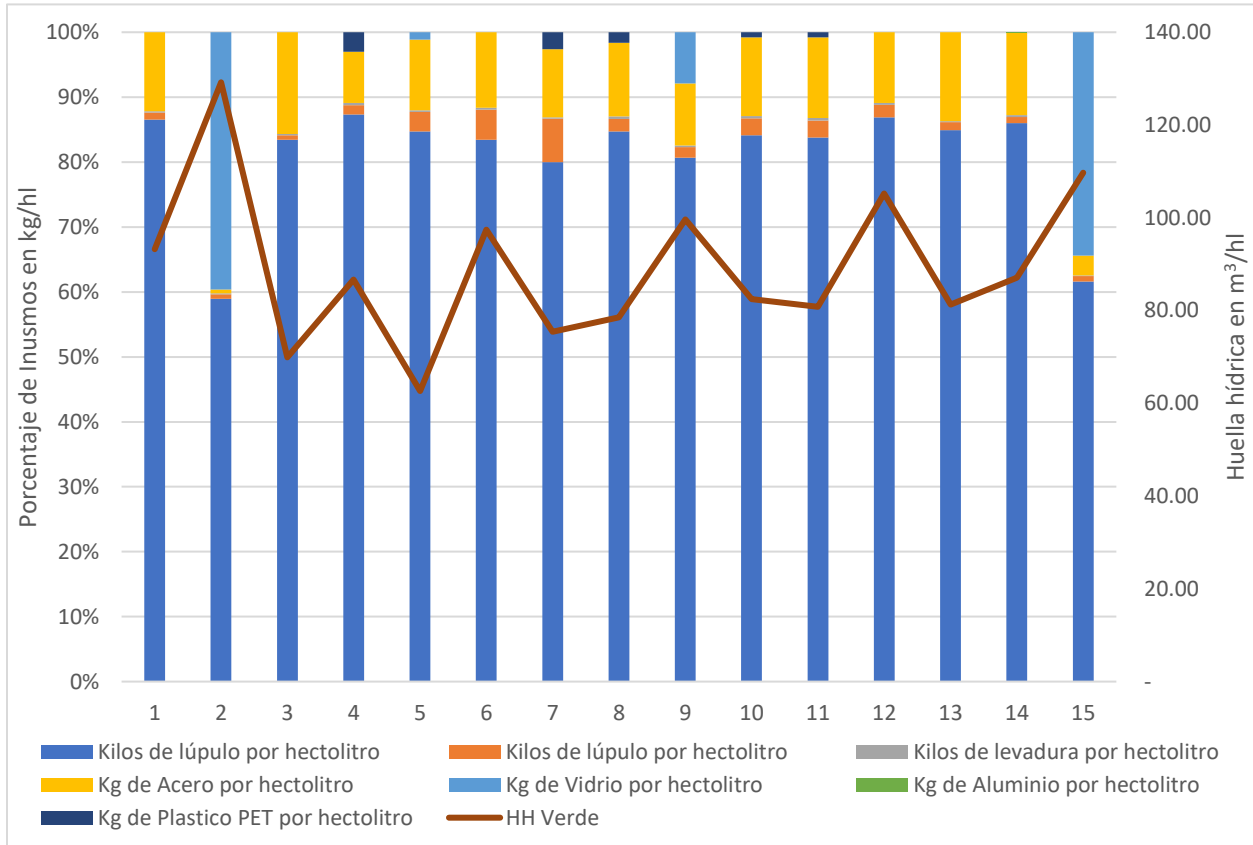


Figura 4.22. Porcentaje de utilización de insumos y la huella hídrica azul de los mismos.

4.5.3 Huella hídrica directa e indirecta

La Figura 4.23 muestra la huella hídrica indirecta y directa de la elaboración de un hectolitro de cerveza. La huella indirecta es el agua utilizada para la elaboración de los insumos como malta, lúpulo, levadura, barriles, botellas y latas, esta tiene valores entre 63 a 129 m³ por hectolitro esto equivale a un porcentaje promedio de 98% de la huella hídrica total. La huella directa es la involucrada en el proceso de elaboración de la cerveza, limpieza y desinfección, enfriado, evaporación y el contenido en el producto final se calcularon con valores con un intervalo de 0.32 a 1.54 m³ por hectolitro, La huella hídrica directa fue en promedio del 2% de la huella hídrica total.

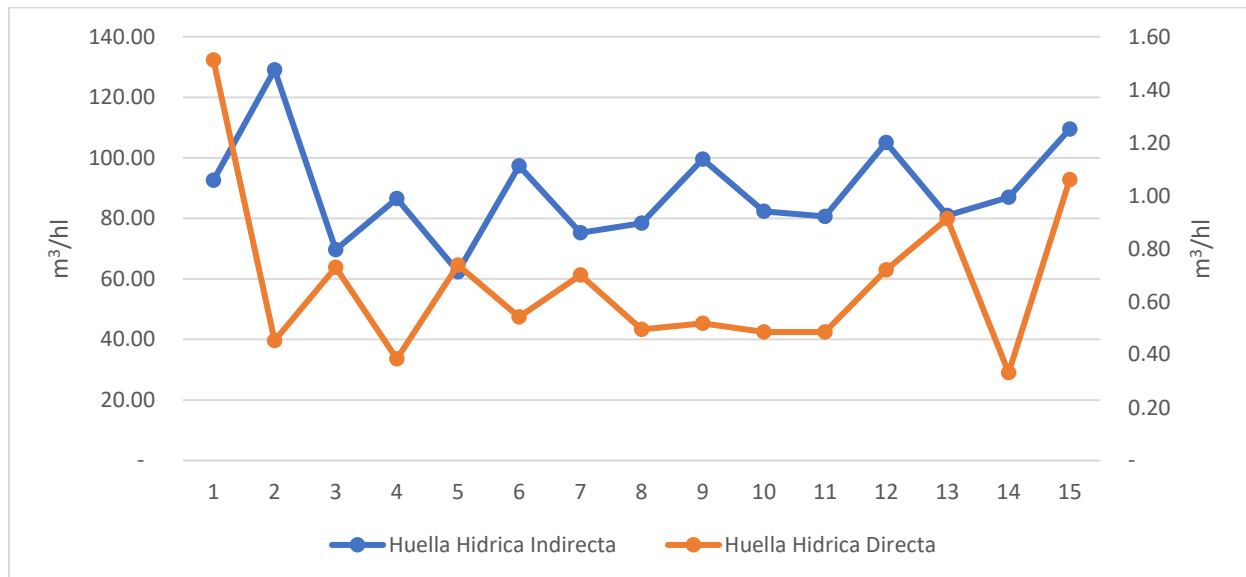


Figura 4.23. Huella hídrica directa e indirecta por hectolitro de cerveza.

4.6 Validación del Simulador huella carbono cerveza artesanal (SHCCA)

Los resultados obtenidos por el SHCCA fueron cotejados con resultados obtenidos al emplear distintos simuladores comerciales, en cada una de las etapas identificadas en el ciclo de vida de la cerveza artesanal. Para los rubros de transporte de insumos y energía eléctrica se utilizó el simulador CEBEK. Para validar los resultados del transporte del producto y el consumo de gas se empleó el simulador EPE. Por último, el consumo de agua se validó con el simulador BID. Cabe mencionar que dichos simuladores utilizan bases de datos internacionales como los de la UNESCO, EPA entre otros.

Para conocer si existe una diferencia estadística entre los resultados de simuladores utilizados para la validación con el simulador desarrollado (SHCCA) se efectuó un análisis de ANOVA, el cual indicó que a un 95% de confianza y un porcentaje de error al 5% no existe una diferencia estadísticamente hablando entre los resultados obtenidos por los simuladores comerciales, en comparación a los resultados obtenidos por el SHCCA, un resumen de dichos cálculos se presenta en el (Apéndice D). Podemos observar que los porcentajes de los errores absolutos se sitúan entre el 0.01% y 10.57%, siendo el más bajo el transporte de insumos cercanos y el más alto el consumo de agua (Tabla 4.1).

La huella hídrica no pudo ser validada con un simulador comercial ya que, no existen simuladores específicos para la medición de las distintas huellas en relación a la agricultura o empresas en concreto, en la literatura encontrada a la fecha de la publicación de esta tesis se utiliza de la misma forma la metodología propuesta por Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011).

Tabla 4.1 Validación de simulador huella de la Cerveza Artesanal (SHCCA) en kg de GEI/hl.

Simulación		Análisis Estadístico				Análisis de Varianza	
Etapa	Simulador Comercial	SIMULADOR HCCA	Media Error	Desviación Estándar Error	% Error Absoluto	F	Valor F critico
Trasporte Insumos Lejos	53.49	53.38	2.21E-03	1.43E-03	0.22% ± 1.43E-03	4.06E-04	4.20
Trasporte Insumos Cerca	8.15	8.15	-1.4E-04	7.61E-06	0.01% ± 7.61E-06	1.76E-06	4.20
Transporte Producto	20.93	21.02	2.15E-03	6.56E-03	0.21% ± 6.56E-03	6.60E-05	4.20
Energía Eléctrica	39.97	38.46	3.75E-02	8.26E-17	3.75% ± 8.26E-17	1.56E-02	4.20
Consumo de Gas	10.46	10.61	-1.43E-02	9.32E-17	1.43% ± 9.32E-17	1.29E-02	4.20
Consumo de Agua	1.02	1.13	-1.05E-01	9.11E-17	10.57% ± 9.11E-17	2.80E-01	4.20
Total	134.01	132.75	9.38E-03	6.93E-03	0.93% ± 6.93E-03	3.32E-03	1.82

4.7 Propuesta para la disminución de emisiones y uso de agua

En este capítulo se pretende mostrar propuestas para la disminución de la huella de carbono y la huella hídrica de las cervecerías artesanales. Adicionalmente, sugerir las acciones que podrían llevar a cabo con el objetivo de cumplir con las normas establecidas en materia ambiental por parte de las autoridades ambientales de los diferentes niveles de gobierno. Cabe destacar que estas medidas no solo tendrán un beneficio en el medio ambiente, sino que además el disminuir o eficientizar las mismas puede conllevar en la reducción de costos.

4.7.1 Disminución de la huella de carbono

4.7.1.1 Emisiones de GEI directas

Las emisiones directas que aportan a la huella de carbono son todas aquellas involucradas en la elaboración del producto, en el caso de las cervecerías se clasificaron de la siguiente manera: energía eléctrica (bombas, cuartos fríos, refrigeradores, molinos, luminarias, entre otros), consumo de gas (calentamiento de agua y mosto), consumo de agua (elaboración, limpieza y desinfección), transporte del producto (nacional, estatal o local), fermentación y carbonatación (grados de alcohol y volúmenes de CO₂). A continuación, se proporcionarán medidas de reducción de huella de carbono en los rubros principales para su cálculo en las cervecerías artesanales.

a) Transporte del producto

Se estimó que el transporte del producto fue el rubro de mayor aportación a las emisiones de GEI con 17.4 a 537 kg de GEI/hl, lo que equivale aproximadamente entre un 0 a un 59% de las emisiones, se pudo observar que las cervecerías con poca producción tienen una tendencia a explorar nuevos mercados y expandir su red de distribución, pero esto es contraproducente para su huella de carbono, en el sentido de que debido a su baja producción y mandar el producto a otros estados aumentan sus huellas de carbono. Una opción para disminuir su huella de carbono

es vender únicamente en mercados locales o en su mismo establecimiento en caso de contar con uno, como es el caso de la cervecería 1 y 3, pero esto limitaría su potencial de crecimiento. Otra de las opciones, es el aliarse con otras cervecerías en sus mismas condiciones y realizar la distribución en las mismas rutas, sobre todo en el transporte fuera del estado. Pudiendo de esta manera, incentivar su crecimiento y reducir los costos por distribución. La última opción sería el crear un plan de entregas para optimizar el tiempo, por ejemplo, hacer entregas un solo día a la semana, con la finalidad de reducir las emisiones por hectolitro. Se calcula que la alianza en la distribución de productos podría reducir entre un 25 a 50% de las emisiones del transporte del producto, lo que se traduce a una disminución de 17.4 a 537 kg de GEI/hl a 8.7 a 203.92 kg de GEI/hl.

b) Energía Eléctrica

La energía eléctrica representa el segundo mayor aporte a las emisiones GEI, se observó que la producción de todas las cervecerías se encuentra por debajo de su capacidad instalada de producción, esto conlleva a que las cargas por energía eléctrica sean mayores y que equipos como cuartos fríos, bombas de glicol y cuartos de fermentación sean sobredimensionados. Una opción para disminuir la huella de carbono en cuanto al consumo de energía eléctrica es el utilizar las instalaciones mínimo a un 80% de su capacidad, también actualizar equipos, mejorar el aislamiento de los cuartos de fermentación, calcular la capacidad de la bomba de glicol, disminuir espacios de refrigeración de ser necesario. Se calcula que implementando estas medidas se podría llegar a reducir la huella de carbono entre 1.7 a 3.67 veces, lo que significa que se puede disminuir de 21 a 205 kg de GEI/hl a 5.3 a 120.64 kg de GEI/hl.

c) Consumo de gas

El consumo de gas representa el tercer mayor aporte a las emisiones GEI. Una de las opciones para la disminución de la huella de carbono en el consumo de gas, podría ser la implementación de un precalentador del agua de maceración y lavado, se pudo observar que las cervecerías con precalentadores tuvieron las menores emisiones y consumos. Esto reduce el consumo de gas LP/hl de un intervalo 1.48 a 3.64 kg hasta 0.36 a 1.12 kg, lo que representa una disminución de hasta el 400% del gas utilizado para la maceración y el lavado. Por lo anteriormente mencionado, las emisiones GEI/hl pasarían de un intervalo de 5.13 a 17.8 kg a 1.28 a 4.45 kg.

4.7.1.2 Emisiones de GEI indirectas

a) Envases

El tipo de envase aporta la mayor cantidad de las emisiones indirectas. Una opción para reducir las emisiones en cuanto al tipo de envase es comercializar su producción únicamente en barriles de acero inoxidable, con lo cual se puede llegar a reducir hasta en un 99% las emisiones. Sin embargo, el uso de barriles de acero inoxidable podría tener consecuencias negativas en términos monetarios y expansión de nuevos mercados, debido que los barriles podrían perderse o dañarse en el transporte. Otra alternativa podría ser utilizar barriles de plástico (PET) reciclables para enviar a bares y restaurantes fuera del estado. El envasado de un hectolitro de cerveza en botella de vidrio no retornable emite aproximadamente 91.6 kg de GEI/hl, donde el mismo producto envasado en barriles de 20 litros de plástico (PET) emite 23 kg de GEI/hl, teniendo una disminución de la huella de carbono de hasta 4 veces menos. Una tercera alternativa, para reducir la huella de carbono de las cervecerías es el uso de envases retornables en vez de botellas no retornables, esto disminuiría la huella de carbono a 6.73 kg de GEI/hl, aproximadamente 13 veces menos. El utilizar latas de aluminio en lugar de botellas de vidrio reduce las emisiones del envasado de un hectolitro de cerveza a 19.7 kg de GEI/hl, aproximadamente 5 veces menos. Por último, se puede reducir la huella de carbono de las cervecerías es optar por la utilización envases plásticos PET en lugar de botellas de vidrio, lo que disminuiría las emisiones de GEI/hl hasta 15 veces menos ya que, un kilogramo de vidrio emite más de 550 veces lo que un kilogramo de

plástico PET, considerando también la cantidad de envases que pueden ser fabricados por un kilogramo de cada material, para el vidrio es de 58 botellas (17 gr/botella) contra 200 botellas de plástico PET (4 gr/botella).

b) Transporte de materias primas

El transporte de materias primas representa el segundo mayor aporte a la huella de carbono indirecta. Las cervecerías pueden optar el comprar las materias primas a marcas que se encuentren lo más cercanas a su ubicación con el fin de reducir la huella de carbono. Las cervecerías que compran sus insumos a proveedores cuya ubicación se encuentra más lejana tienen emisiones entre 45.5 a 87 kg de GEI/hl. Adquirir los insumos de proveedores con ubicación más cercana disminuye las emisiones de entre 6.7 kg a 12.7 kg, lo que representa una disminución de hasta 6 veces menos.

4.7.2 Disminución de la huella hídrica

4.7.2.1 Huella hídrica directa

La huella hídrica directa es toda aquella involucrada en la elaboración de cerveza en la cervecería, esta incluye el agua utilizada para la elaboración (maceración y lavado), limpieza, desinfección y enfriamiento del mosto. Las cervecerías que reutilizan el agua de enfriado del mosto tienen una huella hídrica directa de hasta 5 veces menos que las cervecerías que no la reutilizan. Para esto se propone que todas las cervecerías tengan depósitos para almacenar el agua de enfriado, la cual puede ser mantenida a bajas temperaturas en el cuarto frío o por medio de tanques condicionados para que sean refrigerados por glicol, esto podría reducir la huella hídrica directa de 0.32 a 1.54 a 0.32 a 0.79 m³/hl. Cabe destacar que estas medidas pueden ser aplicadas por cervecerías que tengan bombas de glicol o cuartos fríos, esto también puede ayudar a reducir costos de producción.

4.7.2.2 Huella hídrica indirecta

La huella hídrica indirecta es toda aquella relacionada en la producción de los insumos necesarios para la elaboración de cerveza, esta incluye el agua para el cultivo de malta y lúpulo, reproducción de levadura, producción de latas, botellas y barriles. En la sección de la huella de carbono indirecta se estableció que los cerveceros no podrían vender su producción únicamente en barriles de acero inoxidable, ya que esto limitaría su potencial de expansión, aun así, el llevar a cabo la venta de su producción únicamente en barril representa a una huella hídrica promedio estimado de $0.02 \text{ m}^3/\text{hl}$, considerando el agua de producción y el agua de lavado. La manera más común para la distribución de la producción es la utilización de botellas no retornables lo que representa una huella hídrica de $0.1 \text{ m}^3/\text{hl}$, considerando el agua para la producción y el lavado. Si el envasado es en latas de aluminio la huella hídrica se aumenta a $0.34 \text{ m}^3/\text{hl}$ y en botellas retornables se aumenta la huella hídrica a $0.42 \text{ m}^3/\text{hl}$, también la utilización de plástico PET que representa una huella hídrica de $0.6 \text{ m}^3/\text{hl}$. Lo que en caso contrario con las emisiones de GEI, la huella hídrica resulta menor cuando se utilizan botellas de vidrio no retornable, seguido por las latas de aluminio.

5 CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la producción de hectolitros anuales tiene un rango entre 48 y 2160, pero la gran mayoría (87%) se sitúa por debajo de los 500 hl anuales. La huella de carbono generada por las cervecerías artesanales de Tijuana fue entre 149 a 898 kg de GEI/hl, siendo la más alta generación de GEI, producto de una sobre dimensionamiento de proceso, baja producción y la distancia de la ubicación de producción con respecto a su mercado.

Las variables que más aportan a las emisiones de GEI son en primer lugar, el transporte de productos con un rango promedio del 36 a 39%, seguido del consumo de gas LP 33 al 38% y por último el consumo de energía eléctrica con un 11.5 al 13.2%. Las otras variables como producción de materias primas, transporte de materias primas y envases tienen rango mucho menor que las anteriores variables (2% al 14%). Cabe señalar que el transporte de producto en una de las cervecerías representó alrededor del 59% del total de emisiones GEI debido que comercializa sus productos fuera del estado. Una variable que podría reducir la huella de carbono de las cervecerías es el de adquirir sus insumos a proveedores cuya ubicación sea más cercana las cervecerías. De la misma manera, las cervecerías podrían optar por la utilización de envases plásticos (PET) para reducir las emisiones por la utilización de vidrio, expandir sus mercados y disminuir la cantidad de residuos, así como incentivar la cultura de reciclaje por parte de los usuarios.

En cuanto a la huella hídrica de las cervecerías su intervalo entre 55 a 69 m³/hl. Siendo la huella azul (producción de los insumos) con un 99%, es decir la mayor huella hídrica se debió a la producción de los insumos (malta, lúpulo, levadura, envases y contenedores). Debido a lo anterior, solamente se podrían proponer medidas menores que reducirían la huella hídrica. Por ejemplo, el reciclar el agua de enfriamiento del mosto.

Por otro lado, los resultados del análisis de varianza muestran que el SHCCA es estadísticamente igual a simuladores comerciales utilizados para distintos propósitos, lo cual nos indica que este puede ser una herramienta útil y confiable para la optimización de recursos y actividades de las cervecerías artesanales, lo que puede influir en la toma de decisiones en cuanto a la elección de proveedores, modernización de equipos, eficiencia energética y programación de distribución, lo que podría conducir a una reducción de la huella de carbono.

Cuando se aplican las mejoras mencionadas para la disminución de la huella de carbono como, la adquisición de insumos del lugar más cercano a la cervecería, el crear alianzas entre cervecerías para la distribución de sus productos, la optimización de equipos eléctricos como cuartos fríos y la utilización de envases reutilizables como barriles de acero inoxidable o botellas retornables, la huella de carbono disminuye de un máximo de entre 188 a 898 kg de GEI/hl hasta 104.79 a 682.65 kg de GEI/hl, lo que representa una disminución de las emisiones de entre el 31 al 79%. En el caso de la huella hídrica cuando se implementan las medidas mencionadas para la disminución de la misma, como la utilización de envases como barriles de acero o la reutilización del agua para el enfriado del mosto se logra reducir la huella hídrica de entre 63.11 a 129.49 m³/hl a 62.54 a 128.92 m³/hl, lo que representa un ahorro del 1%. Cabe señalar que, aunque el porcentaje de ahorro es mínimo debemos cuidar los recursos y esto también puede significar en una reducción en los costos de servicios de la cervecería, ya que la huella hídrica directa disminuye de un máximo de 1.54 a 0.79 m³/hl, lo que representa un ahorro del 94%.

6 REFERENCIAS

- Abbade E (2020). Land and water footprints associated with rice and maize losses in Brazil. *Land Use Policy*. 99, 105106. DOI <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105106>
- Acermex (2019). Reporte de la industria cervecera independiente mexicana 2018. Consultado 15 abril 2021. Disponible en: <http://acermex.org/wp-content/uploads/2019/11/Reporte-de-la-Industria-.Acermex.pdf>
- Adetoro AA, Singels AI, Paraskevopoulos A, Owusu-Sekyere E, Jordaan H, Orimoloye IR (2020). Alleviating water shortages by decreasing water footprint in sugarcane production: The impacts of different soil mulching and irrigation systems in South Africa. *Groundwater for Sustainable Development*. 11, 100464. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100464>
- AEC (2019). Norma PAS 2050. Consultado 15 de abril 2021. Disponible en: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2050>
- Agyemang M, Zhu Q, Tian Y. (2016). Analysis of opportunities for greenhouse emission reduction in the global supply chains of cashew industry in West Africa. *Journal of Cleaner Production*. 115:149-161. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.059>
- Ali EM, Khairy HM (2016). Environmental assessment of drainage water impacts on water quality and eutrophication level of Lake Idku, Egypt. *Environmental Pollution*. 216. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.064>
- Altuna A (2012). Huella de carbono de los cereales. La emisión de gases de efecto invernadero en relación con el sector agroalimentario. *Navarra Agraria*. 194:31–38

Anchor Brewing (2012). Anchor Terminology: Kräusening. Consultado 25 noviembre 2020.

Disponible en: <https://www.anchorbrewing.com/blog/anchor-terminology-krausening/>

Antúnez M (2013). Especial: cerveza artesanal en México, Soy entrepreneur. Consultado 18 de

Julio 2020. Disponible en: <http://www.soyentrepreneur.com/25283-especial-cervezaartesanal.html>.

Arhur R (2021). Asia continues to dominate global beer consumption: Kirin report. Consultado 17

de mayo 2021. Disponible en: [https://www.beveragedaily.com/Article/2021/01/04/Asia-continues-to-dominate-global-beer-consumption-](https://www.beveragedaily.com/Article/2021/01/04/Asia-continues-to-dominate-global-beer-consumption-Kirin#:~:text=Global%20beer%20consumption%20came%20in,0.5%25%20from%20the%20previous%20year)

[Kirin#:~:text=Global%20beer%20consumption%20came%20in,0.5%25%20from%20the%20previous%20year](https://www.beveragedaily.com/Article/2021/01/04/Asia-continues-to-dominate-global-beer-consumption-Kirin#:~:text=Global%20beer%20consumption%20came%20in,0.5%25%20from%20the%20previous%20year)

Arreguín F, López M, Marengo H, Tejeda C (2007). Agua Virtual en México, Ingeniería

Hidráulica. 22: 4-12. http://cenca.imta.mx/pdf/agua_virtual.pdf

AstraZeneca (2016). AstraZeneca Sustainability Report 2016. Consultado 25 noviembre 2020.

Disponible en: <https://www.astrazeneca.com/our-company/sustainability/environmental-sustainability.html>

Atance LA, Marín IC, Uranga OR, Luengo ER (2012). Criterios de selección de un estándar para

la medida de la huella de carbono. Maestría en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Escuela de Organización Industrial.

Banco Interamericano de Desarrollo (2014). Índices GEI para el uso del agua en la vivienda en

México. Consultado 30 agosto 2021. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/indices-gei-para-el-uso-del-agua-en-la-vivienda-en-mexico>

- Bamforth C (2009). Beer: Tap into the Art and Science of Brewing. Oxford University. 3ra edición.
- Bamforth C (2010). Beer is Proof God Love Us: Reaching for the Soul of Beer and Brewing. Editorial FT.
- Barth R (2013). The Chemistry of Beer: The Science in the Suds. Editorial Wiley.
- Bell EM, Hovarth A (2020). Modeling the carbon footprint of fresh produce: effects of transportation, localness, and seasonality on US orange markets. Environmental Research Letters. 15, 034040. DOI <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6c2f>
- Bernáldez AI (2013). Cerveza artesanal en México: ¿soberanía cervecera y alimentaria? Culinaria Universidad Autónoma de México. 6:56-63.
- Bhandari R, Kumar B, Mayer F (2020). Life cycle greenhouse gas emission from wind farms in reference to turbine sizes and capacity factors. Journal of Cleaner Production. 277, 123385. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123385>
- Bonamente E, Scrucca F, Asdrubali F, Cotana F, Presciutti A (2015). The Water Footprint of the Wine Industry: Implementation of an Assessment Methodology and Application to a Case Study. Sustainability Journal. 7:12190-12208. DOI <https://doi.org/10.3390/su70912190>
- Borsato E, Giubilato E, Zabeo A, Lamastra L, Criscione P, Tarolli P, Marinello F, Pizzol L (2019). Comparison of Water-focused life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment: The case of an Italian wine. Science of the Total Environment. 666:1220-1231. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.331>
- Boulton C, Quain D (2001). Brewing Yeast and Fermentation. Editorial Blackwell Science.

- Brewers Association (2021a). Craft beer retailer temperature cheat sheet. Consultado 20 enero 2021. Disponible en: <https://www.brewersassociation.org/educational-publications/craft-beer-retailer-temperature-heat-sheet/>
- Brewers Association (2021b). National beer sales and production data. Consultado 15 de abril 2021. Disponible: <https://www.brewersassociation.org/statistics-and-data/national-beer-stats/>
- Briggs DE (1998). Malts and Malting. Editorial Blackie Academic and Professional.
- Briggs DE, Brookes PA, Stevens R, Boulton CA (2004). Brewing. Editorial Elsevier.
- British Standards International (2008). Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services. Crown and Carbon Trust.
- Brizga J, Hubacek K, Feng K (2020). The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. One Earth Cell Press. 3: 45-53. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.016>
- Cámara de Diputados (2020). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Consultado 14 noviembre 2020. Disponible en: http://www3.diputados.gob.mx/camara/001_diputados/012_comisioneslxii/01_ordinarias/002_agua_potable_y_saneamiento/13_marco_juridico/01_constitucion_politica_de_los_estados_unidos_mexicanos
- Capitello R, Maehle N (2020). Case studies in the beer sector. Editorial Elsevier.
- Cengel YA, Boles MA, Kanoglu M (2019). Termodinámica. Mc Graw Hill, 9na edición.
- Cerveceros de México (2020). Estado de la agroindustria cervecera en México. Consultado 26 febrero 2021. Disponible en: <https://cervecerosdemexico.com/estado-de-la-industria/>

- CFE (2016). Guía para determinar el factor de emisión de bióxido de carbono equivalente para el sistema eléctrico nacional. Consultado 26 noviembre 2020. Disponible en: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/t/SPA00-63.pdf>
- Chang C, Chang K, Wu M (2017). Carbon footprint analysis in the aquaculture industry: Assessment of an ecological shrimp farm. *Journal of Cleaner Production*. 168:1101-1107. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.109>
- Chapagain K, Hoekstra Y (2004). Water footprint of nations. Volume 1: Main report. Value of Water Research Report Series. 1: 1–80.
- Chini C, Logan L, Stillwell A (2020). Grey water footprints of U.S. thermoelectric power plants from 2010–2016. *Advances in Water Resources*. 145, 103733. DOI <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103733>
- Cichorowski G, Joa B, Hottenroth H, Schmidt M (2015). Scenario analysis of life cycle greenhouse gas emissions of Darjeeling tea. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 20:426-439. DOI <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0840-0>
- Cimini A, Moresi M (2018a). Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbon footprint as related to the brewery size and primary packaging materials. *Journal of Food Engineering*. 236:1-8. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.001>
- Cimini A, Moresi M (2018b). Effect of Brewery Size on the Main Process Parameters and Cradle-to-Grave Carbon Footprint of Lager Beer. *Journal of Industrial Ecology*. 22:1139-1155. DOI <https://doi.org/10.1111/jiec.12642>

- Coca Cola Company (2018). ¿Cuál es la huella ecológica de una lata de Coca Cola? Consultado 30 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.coca-colamexico.com.mx/noticias/medio-ambiente/huella-ecologica-de-una-lata-de-coca-cola>
- COFALEC (2018). Yeast. Sustainability. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.cofalec.com/sustainability/yeast-carbon-footprint/>
- Cole M (2017). The Little Book of Craft Beer: A guide to over 100 of the World's Finest Brews. Hardie Grant Books.
- Colomer M, Funch B, Forster J (2019). The raise of Brettanomyces yeast species for beer production. Food Biotechnology. 56:30-35. DOI <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.07.009>
- Confederación Empresarial de Bizkaia (2010). Herramienta para el Calculo de la Huella de Carbono. Consultado 30 agosto 2021. Disponible en: <https://www.cebek.es/innovacion-y-competitividad/medio-ambiente/>
- Congreso del Estado de Baja California (2001). Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California. Estados Unidos Mexicanos.
- Congreso del Estado de Baja California (2007). Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California. Estados Unidos Mexicanos.
- Conway J (2021). Per capita consumption of beer in selected countries in the European Union in 2019. Consultado 20 de abril 2021. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/625214/per-capita-beer-consumption-european-union-eu/>

Cotan-Pinto S (2007). Valoración de impactos ambientales. Tesis de maestría. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Deloitte (2017). La cerveza artesanal. Una experiencia multisensorial. Consultado 14 octubre 2019. Disponible en:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/consumer-business/2017/Cerveza-Artesanal-Mexico-2017.pdf>

Diario Oficial de la Federación (1992). Ley de Aguas Nacionales. Estados Unidos Mexicanos.

Diario Oficial de la Federación (1998). Norma-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Estados Unidos Mexicanos.

Diario Oficial de la Federación (2013). Norma-161-Semarnat-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo. Estados Unidos Mexicanos.

Diario Oficial de la Federación (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Estados Unidos Mexicanos.

Difusa, Insumos para la Industria Cervecera (2020). Catálogo de Insumos Cerveceros. Revisado el 10 de marzo de 2021, Disponible en: <https://www.difusa.mx/listas-precios/1e92f-lista-de-precios-2020.7.pdf>

Dobben WH, Lowe RH (1980). Conceptos unificadores en ecología. Editorial Blume. Barcelona, España.

- Dourojeanni A, Jouravlev A, Chávez G (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile.
- Drews J, Czycholl I, Krieter J (2020). A life cycle assessment study of dairy farms in northern Germany: The influence of performance parameters on environmental efficiency. *Journal of Environmental Management*. 273, 111127. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111127>
- Entreprises Pour L'environnement (2018). Commission Changement Climatique. Consultado 30 agosto 2021. Disponible en: <http://www.epe-asso.org/commission-changement-climatique/>
- Environmental Protection Agency (2020). Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/emission-factors_apr2021.pdf
- Espadas G, Vialle C, Belaud J, Garcia C, Sablayrolles C (2019). Analysis and trends for Life Cycle Assessment of olive oil production. *Sustainable Production and Consumption*. 19:216-230. DOI <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.003>
- Espíndola C, Valderrama JO (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. 23:163-176. DOI 10.4067/S0718-07642012000100017
- Espinoza G (2002). Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo. Editorial Ambros.
- Fajardo P (2010). Cerveza artesanal. Universidad los Libertadores.
- Fat Tire Brewing (2008). The Carbon Footprint of Fat Tire ® Amber Ale. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: https://www.ess.uci.edu/~sjdavis/pubs/Fat_Tire_2008.pdf

- Fernández RC, Martínez D, Astorga P, Valencia J, Medel R (2017). Comportamiento del consumidor de cerveza artesanal Revista Global de Negocios. 5:17-23.
- Ferreyra L (2014). Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de la Plata.
- Freijo JJ (2012). Criterios de Selección de un Estándar para la Medida de la Huella de Carbono. Escuela de Organización Industrial.
- Fuller T (1840). La historia de los Worthies de Inglaterra. Nuttall y Hodgson. Londres, Inglaterra.
- García A (2019). La mejor cerveza artesanal de México se produce en Tijuana: RateBeer. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/forbes-life/tijuana-se-consolida-como-la-capital-cervecera-de-mexico/>
- García X (1993). Los orígenes y la implantación de la industria cervecera en España, siglo XVI-1913. Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona.
- Garret J (2016). Beer School: A Crash Course in Craft Beer. Mango.
- Gellert W, Gottwald S, Hellwich M, Kastner H, Kustner H (1989). The VNR Concise Encyclopedia of Mathematics. Van Nostrand Reinhold, 2da edición.
- German Brewers Association (2021). Reinheitsgebot. Consultado 20 enero 2021. Disponible en: <https://brauer-bund.de/reinheitsgebot/>
- Ghate AT, Qamar S (2020). Carbon footprint of urban public transport systems in Indian cities. Case Studies on Transport Policy. 8:245-251. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.01.005>

- Gierling F, Blanke M (2020). Carbon reduction strategies for regionally produced and consumed wine: From farm to fork. *Journal of Environmental Management*. 278, 111453. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111453>
- Goldammer T (2008). *The Brewers Handbook: The Complete Book to Brewing Beer*. Apex Publishers. 2da edición.
- Gaudiano G (2017). El ambiente: mucho más que ecología. Consultado el 14 de mayo 2020. Disponible en: <http://anea.org.mx>
- Govere S, Nyamangara J, Nyakatawa E (2020). Climate change signals in the historical water footprint of wheat production in Zimbabwe. *Science of The Total Environment*. 742, 140473. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140473>
- Gribbins K (2013). Como se utilizan los brite tanks. Revisado el 18 de abril de 2021, Disponible en: <https://www.craftbrewingbusiness.com/equipment-systems/bright-beer-tanks-reviewed-by-stone-brewings-mitch->
- Grupo Haricana (2016). Historia de la levadura. Revisado el 09 de abril de 2021, Disponible en: <http://grupoharicana.com/beta15/historia-de-la-levadura/>
- Güngörmüşler M, Başınhan I, Üçtuğ FG (2020). Optimum formulation determination and carbon footprint analysis of a novel gluten-free pasta recipe using buckwheat, teff, and chickpea flours. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44, e14701 DOI <https://doi.org/10.1111/jfpp.14701>
- Guzmán-Luna P, Gerbens-Leenes P.W, Vaca-Jiménez S.D (2020). The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in Mexico, a comparison of the footprints of fish and meat.

Resources, Conservation and Recycling. 165, 105224. DOI
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105224>

Hall ML (1995) Brew by the Numbers Add Up What's in Your Beer. Editorial Zymurgy. 1ra edición.

Harlan H (1957). La vida de un hombre con la cebada. Exposition Press. Washington, Estados Unidos.

Hereter R (2018). El comercio de las especias orientales desde la antigüedad a las cruzadas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona.

Hieronymus S (2005) Brew Like a Monk: Trappist, Abbey, and Strong Belgian Ales and How to Brew Them. Brewers Publications.

Hieronymus S (2012). For the Love of Hops: A Practical Guide to Aroma, Bitterness, and hop cultivation. Brewers Publications.

Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM (2011). Manual de evaluación de la huella hídrica. Water Footprint Network.

Hoekstra AY, Mekonnen MM (2010). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. Volume 1: Main Report. Value of Water Research Report Series. 1:80.

Holle SR (2003). Un Manual de cálculos básicos de cervecería. Editorial: Asociación de Cerveceros de las Américas.

- Hu A, Chen C, Huang L, Chung M, Lan Y, Chen Z (2019). Environmental Impact and Carbon Footprint Assessment of Taiwanese Agricultural Products: A Case Study on Taiwanese Dongshan Tea. *Energies*. 12: 138. DOI <https://doi.org/10.3390/en12010138>
- Huxley S (2011). *The oxford companion to beer*. Oxford University Press.
- Ibañez P (2013). *Guía de la cerveza en Chile*. Editorial Uqbar.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Consultado 26 noviembre 2020. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995). *Estudio Hidrológico del Estado de Baja California*. Gobierno del Estado de BC.
- International Finance Corporation (2013). *Water Footprint Assessment*. Consultado 30 noviembre 2020. Disponible en: https://waterfootprint.org/media/downloads/WFN_2013.Tata_Industrial_Water_Footprint_Assessment.pdf
- International Hop Growers Convention (2019). *Economic commission, summary reports*. Disponible en: http://www.hmelj-giz.si/ihgc/doc/2019%20APR%20IHGC%20EC%20Report_final.pdf
- ISO Tools (2020). *Norma PAS 2050*. Revisado el 20 de noviembre de 2020, Disponible en: <https://www.isotools.org/2012/12/13/que-es-la-norma-pas-2050/>

Jackson M (1998). Beer. Editorial El Ateneo.

Johnson M, Mehrvar M (2019). An assessment of the grey water footprint of winery wastewater in the Niagara Region of Ontario, Canada. *Journal of Cleaner Production*. 214: 623-632. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.311>

Junta de Andalucía (2019). Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en la industria cervecera. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Preencion/Modelos/EPTR/Modelos/Guias_apoyo/Guia_Ep8bii_Industria_Cervecera.pdf

Kamath D, Arsenault R, Kim HC, Anctil A (2020). Economic and Environmental Feasibility of Second-Life Lithium-Ion Batteries as Fast-Charging Energy Storage. *Environmental Science and Technology*. 54:6878-6887- DOI <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05883>

Lederman N (2017). Las "leyes de pureza" que mantienen la cerveza de Baviera sin cambios desde hace medio milenio. Consultado 12 enero 2021. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/vert-tra-37876037>

Leinonen I, MacLeod M, Bell J (2018). Effects of Alternative Uses of Distillery By-Products on the Greenhouse Gas Emissions of Scottish Malt Whisky Production: A System Expansion Approach. *Sustainability*. 10: 1473. <https://doi.org/10.3390/su10051473>

Litskas V, Tzortzakis N, Stavrínides M (2020). Determining the Carbon Footprint and Emission Hotspots for the Wine Produced in Cyprus. *Atmosphere*. 11: 463. DOI <https://doi.org/10.3390/atmos11050463>

Mallétt J (2014). Malt. Editorial Brewers Publications.

Maltosaa Mexican Premium Malt (2019). La técnica del krausening en la elaboración de cerveza.

Revisado el 09 de abril de 2021, Disponible en: <https://maltosaa.com.mx/tecnica-krausening-elaboracion-cerveza>

Maltosaa Mexican Premium Malt (2020). Que es el crashing. Revisado el 18 de abril de 2021,

Disponible en: <https://maltosaa.com.mx/cold-crashing/>

Mantoam, EJ, Angnes G, Mekonnen M, Romanelli TL (2020). Energy, carbon and water footprints

on agricultural machinery. Biosystems Engineering. 198:304-322. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.08.019>

Manzano A (2020). Consulta el directorio nacional de cervecerías y puntos de venta con cheve a

domicilio. Consultado 20 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.periodismodesdelabarra.com/blog/2020/04/15/consulta-el-directorio/>

Martínez A (2015). Análisis comparativo de compuestos bioactivos en cerveza artesanal y cerveza

industrial. Tesis de Licenciatura. Universidad de Lleida.

Martínez C, Berdasco L (2015). Carbon footprint of sawn timber products of Castanea sativa Mill.

in the north of Spain. Journal of Cleaner Production. 102:127-135. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.004>

Martínez MA (2013). Indicadores como información base para el análisis del desempeño

ambiental: huella hídrica, huella ecológica y huella de carbono. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Martins L. D, Eugenio FC, Rodrígues WN, Tomaz MA, Dos Santos AR, Ramalho JC (2018). Carbon and water footprints in Brazilian coffee plantations - the spatial and temporal distribution. Emirates journal of food and agriculture. 30:482-487. DOI <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i6.1718>
- McAuliffe G, Takahashi T, Orr R, Harris P, Lee F (2017). Distributions of emissions intensity for individual beef cattle reared on pasture-based production systems. Journal of Cleaner Production. 171:1672-1680. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.113>
- Mckinley F (2013). The guide to great beer brewing: basic beer making tips. Speedy Publishing LLC.
- Miguel JL (2011). Huella de carbono. Cálculo de emisiones (PAS 2050) y neutralidad de carbono (PAS 2060). British Standards International.
- Ministerio de Cultura Argentina (2016). Historia de la cerveza. Revisado el 20 de noviembre 2020, Disponible en: https://www.cultura.gob.ar/cronologia-de-la-cerveza_7973/
- Ministerio de Cultura Argentina (2019). Historia de la cerveza. Consultado 06 diciembre 2021. Disponible en: https://www.cultura.gob.ar/cronologia-de-la-cerveza_7973/
- Ministerio del Ambiente Perú (2013). Indicadores ambientales. Consultado 10 junio 2020. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/investigacion/indicadores-ambientales/#:~:text=Los%20indicadores%20ambientales%20permiten%20describir,las%20condiciones%20y%20tendencias%20ambientales>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). Calculadoras de Huella de Carbono. Consultado 30 agosto 2021. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>
- Molinero D (2015). Educación Ambiental y Huella de Carbono en la Asignatura de Tecnologías. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mujica M, Blanco G, Santalla E (2016). Carbon footprint of honey produced in Argentina. *Journal of Cleaner Production*.116: 50-60. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.086>
- Munasinghe M, Jayasinghe P, Gajanayake A (2015). Supply/value chain analysis of carbon and energy footprint of garment manufacturing in Sri Lanka. *Sustainable Production and Consumption*. 5:51-64. DOI <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.12.001>
- Muñoz E, Riquelme C, Cárdenas JP (2012). Carbon footprint of beer – analysis of a small-scale processing plant in Chile. *Proceedings LCA Conference*.
- Nezamoleslami R, Hosseinian SM (2020). Data needed for assessing water footprint of steel production. *Data in Brief*. 30, 105461. DOI <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105461>
- North Williston Brewing Co (2020). Craft, Micro, Nano, Pico. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.northwillistonbrewing.com/home/beer-terms/micro>
- Olivera P, Holzman ME, Bayala MI (2020). Spatial variability of the green water footprint using a medium-resolution remote sensing technique: The case of soybean production in the Southeast Argentine Pampas. *Science of The Total Environment*. 763, 142963. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142963>

- Onat NC, Kucukvar M (2020). Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 124, 109783. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783>
- Palmer J (2017). *How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Great Beer Every Time*. 1 Brewers Association. 3ra edición. Pas
- Pedrueza A. (2018). ¿Quién inventó la cerveza? Una historia con un origen muy antiguo. Revisado el 15 de abril de 2021, Disponible en: <https://www.beersandtrips.com/invento-la-cerveza-una-historia-origen-antiguo/>
- Pellegrini G, Ingrao C, Carnposeo S, Tricase C, Conto F, Huisingh D (2016). Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment. *Journal of Cleaner Production*. 112:2407-2418. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.088>
- Perevochtchikova M (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión Política y Pública*. 22:285-512.
- Peters G, Svanström M, Zamani B (2015). Carbon footprints in the textile industry. *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing*. 1: 3-30. <https://orcid.org/0000-0002-3536-7895>
- Pomponi F, Stephan A (2021). Water, energy, and carbon dioxide footprints of the construction sector: A case study on developed and developing economies. *Journal of Water Research*. 194, 116935. DOI <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116935>

- Ponstein HJ, Meyer-Aurich A, Prochnow A (2019). Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine production. *Journal of Cleaner Production*. 212:800-809. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.206>
- Poole D (2015). Educación ambiental y huella de carbono en la asignatura de Technologies. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Madrid.
- Porto Lobo (2018). Proceso de elaboración de cerveza. Consultado 15 noviembre 2020. Disponible en: <http://www.cervezaportolobo.com/Paginas/Inicio.asp>
- Preedy V (2008). *Beer in health and disease prevention*. Editorial Elsevier.
- Priest FG, Stewart GG (2006). *Handbook of Brewing*. Editorial Advisory Board. 2da edición.
- PROFEPA (2016a). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Revisado 14 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente-63043>
- PROFEPA (2016b). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Revisado 14 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>
- Raffino ME (2020). Concepto de medio ambiente. Consultado 4 abril 2021. Disponible en: <https://concepto.de/medio-ambiente/>
- Rajaniemi M, Mikkola H, Ahokas J (2011). Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. *Agronomy Research. Biosystem Engineering*. 1:189–195.
- Ramos C, Sánchez V (2013). *Manual de medio ambiente. Retos ambientales y cooperación para el desarrollo*. Alianza por la Solidaridad. Madrid, España.

- Ratchawat T, Panyatona S, Nopchinwong P, Chidthaisong A, Chiarakorn S (2020). Carbon and water footprint of Robusta coffee through its production chains in Thailand. *Environment Development and Sustainability*. 22:2415-2429. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0299-4>
- Rebolledo RA (2017). México, ¿Una potencia en cervezas artesanales? Consultado 18 enero 2021. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-una-potencia-en-cervezas-artesanales--20170617-0016.html>
- Recio G (2004). El nacimiento de la industria cervecera en México, 1880-1910. Congreso Nacional de Historia Económica. Universidad Autónoma de México.
- Rocha A (2011). El agua virtual y la huella hídrica en el siglo XXI. Universidad Nacional de Ingeniería Perú. Conferencias de Ingeniería Civil.
- Rodríguez PO, Holzman ME, Degano MF, Faramiñan AMG, Rivas ER, Bayala MI (2021). Spatial variability of the green water footprint using a medium-resolution remote sensing technique: The case of soybean production in the Southeast Argentine Pampas. *Science of The Total Environment*. 763, 142963. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142963>
- Roibas L, Rodriguez S, Valdramidis VP, Hospido A (2018). The relevance of supply chain characteristics in GHG emissions: The carbon footprint of Maltese juices. *Food Research International*. 107:747-754. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.067>
- Ropero S (2020). Indicadores ambientales: que son, tipos y ejemplos. Consultado 10 junio 2020. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/indicadores-ambientales-que-son-tipos-y-ejemplos-2759.html>

- Ruviaro CF, Léis CM, Florindo TJ, Medeiros GIB (2020). Life cycle cost analysis of dairy production systems in Southern Brazil. *Science of The Total Environment*. 741:140273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140273>
- Sarmiento A (2016). *Naturaleza y Sociedad: Relaciones y Tendencias desde un Enfoque Eurocéntrico*. Universidad de Caldas.
- Schneider H, Samaniego J (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Scrucca F, Bonamente E, Rinaldi S (2017). Chapter 7: Carbon Footprint in the Wine Industry. *Environmental Carbon Footprints. Sustainability Journal* 8: 621. DOI <https://doi.org/10.3390/su8070621>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). Producción de cerveza en México: una historia para celebrar. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/produccion-de-cerveza-en-mexico-una-historia-para-celebrar?idiom=es>
- SECTURE (2015). Cerveza artesanal en Baja California. Consultado 20 enero 2020. Disponible en: <https://secturebc.org/cerveza.artesanal>
- SEMARNAT (2008). Informe sobre la situación del medio ambiente en México, Agua. pp. 67-78
- SEMARNAT (2011). Indicadores Ambientales. Revisado el 20 noviembre 2020, Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_2011/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual.html

SEMARNAT (2015a). Acciones para cuidar el medio ambiente 10 junio 2020. Disponible en:
<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/acciones-para-cuidar-el-medio-ambiente-17102>

SEMARNAT (2015b). Informe de la situación del medio ambiente en México 2015. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Consultado 14 mayo 2020. Disponible en:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

SEMARNAT (2016). Protocolo de Kioto sobre cambio climático. Consultado 25 agosto 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es#:~:text=El%20Protocolo%20de%20Kioto%20fue,Unidas%20sobre%20el%20Cambio%20Clim%C3%A1tico>.

SEMARNAT (2018). Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental. Definición, tipos y clasificaciones de impacto ambiental. Consultado 4 de abril 2021. Disponible en:
<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

Seppälä J, Heinonen T, Pukkala T, Kilpeläinen A, Mattila T, Myllyviita T, Asikainen A, Peltola H (2019). Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *Journal of Environmental Management*. 247:580-587. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.031>

Sepúlveda O (2012). Cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de la cerveza Ámbar Lager en la cervecería. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile.

Serrano CMV (2013). Manual del medio ambiente. Alianza por la Solidaridad. Madrid, España.

Shin R, Searcy C (2018). Evaluating the greenhouse gas emissions in the craft beer industry: An assessment of challenges and benefits of greenhouse gas accounting. Sustainability Journal. 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10114191>

Soil and Water Assessment Tool (2020). Modelo SWAT para la Cuantificación de la Huella Hídrica. Consultado 30 agosto 2020. Disponible en: <https://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>

Spaulding K, Mcveigh SP (2013) The Carbon Footprint of Farm Hand French Style Farmhouse Ale. Consultado 25 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.breweryvivant.com/wp-content/uploads/2017/03/VivantLCAGraphicsv2-copy.pdf>

Steenwerth KL, Strong EB, Greenhut RF (2015). Life cycle greenhouse gas, energy, and water assessment of wine grape production in California. International Journal of Life Cycle Assessment. 20:1243–1253.

Stephen HR (2003). Un Manual de cálculos básicos de cervecería. Asociación de Cerveceros de las Américas. Lima, Perú.

Stevenson WJ (1981). Estadística para administración y economía: conceptos y aplicaciones. Editorial Alfa Omega.

Stone D (2014). The world's top drink. Consultado 20 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/culture/article/the-worlds-top-drink>

- Szigeti C, Harangozo G (2017). Corporate carbon footprint analysis in practice – With a special focus on validity and reliability issues. *Journal of Cleaner Production*. 167:1177-1183. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.237>
- Technavio (2019). Beer market by distribution channel and geography-forecast and analysis. Consultado 20 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.technavio.com/report/beer-market-industry-analysis>
- The Beer Times (2021). Estudio afirma que el 94% de las cervecerías del mundo son artesanales. Consultado el 20 de mayo 2021. Disponible en: <https://www.thebeertimes.com/nuevo-estudio-afirma-94-las-cervecerias-del-mundo-artesanales/>
- Tian X, Sarkis J, Geng, Y, Qian Y, Gao C, Bleischwitz R, Xu Y (2018). Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. *Environment International*. 121:178-188. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.011>
- Tolón A, Lastra XB, Fernández VJ (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. *Revista Electrónica de Medio Ambiente*. Universidad Complutense de Madrid.
- Trombly A, Fortier M (2019). Carbon Footprint of Wines from the Finger Lakes Region in New York State. *Sustainability*, 11: 2945. DOI <https://doi.org/10.3390/su11102945>
- US Beer Ratings (2019). Top 10 beer producing countries. Consultado 15 de abril 2021. Disponible en: <https://usabeerratings.com/en/blog/insights-1/top-10-beer-producing-countries-78.htm>

- Usva K, Sinkko T, Silvenius F, Riipi I, Heusala H (2020). Carbon and water footprint of coffee consumed in Finland-life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 25:1976-1990. DOI 10.1007/s11367-020-01799-5
- Valderrama J, Espindola C, Quezada-Gaete (2011). Huella de carbono, un concepto que no puede estar ausente en cursos de ingeniería y ciencias. *Formación Universitaria* 4:3-12. DOI 10.4067/S0718-50062011000300002
- Vallejo AL, Vallejo MA, Nájera J, Gamier LA (2017). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA HUELLA DE CARBONO Y LA HUELLA DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN BANANERA. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Vázquez AB, Valdez EC (1994). Impacto ambiental. *Revista del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Universidad Autónoma de México.
- Vázquez R (2014). *Ecología y medio ambiente*. Editorial Grupo Patria. 2da edición.
- Vázquez -Rowe I, Cáceres AL, Torres-García JR, Quispe I, Kahhat R (2017). Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*. 142:4369-4383. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.136>
- Verdú M.G (2015). *Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Vinyes E, Asin L, Muñoz P (2017). Carbon footprint and profitability of two apple cultivation training systems: Central axis and Fruiting wall. *Scientia Horticulture*. 229:233-239. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.046>

- White C, Zainasheff J (2010). Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation. I Brewers Publications.
- Wilkes A, Wassie S, Odhong C, Fraval S, Dijk S (2020). Variation in the carbon footprint of milk production on smallholder dairy farms in central Kenya. *Journal of Cleaner Production*. 265, 121780. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121780>
- WWF, SAAB Miller (2009). Water footprinting. Identifying and addressing water risks in the value chain. Johnston Works.
- Xu Q, Hu K, Wang X, Wang D, Knudsen M.T (2019). Carbon footprint and primary energy demand of organic tea in China using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*. 233:782-792. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.136>
- Xue L, Cao Z, Scherhauser S, Ostergren K, Cheng S, Liu G (2021). Mapping the EU tomato supply chain from farm to fork for greenhouse gas emission mitigation strategies. *Journal of Industrial Ecology*. 25:377-389. DOI <https://doi.org/10.1111/jiec.1308>
- Yue W, Cai Y, Su M, Xu M (2017). Carbon Footprint of Copying Paper: Considering Temporary Carbon Storage Based on Life Cycle Analysis. *Energy Procedia*. 105:3752-3757. DOI <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.870>
- Zhai Y, Zhang T, Bai Y, Ji C, Ma X, Shen X, Hong J (2020). Energy and water footprints of cereal production in China. *Resources, Conservation and Recycling*. 164, 105150. DOI <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105150>

Zhou J, Wong JKW (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*. 57:156-165. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>

Zhuang H, Guan J, Leu SY, Wang Y, Wang H (2020). Carbon footprint analysis of chemical enhanced primary treatment and sludge incineration for sewage treatment in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*. 272, 122630. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122630>

Zygmunt J (2007). L'odyssée des enfants perdus en Sibérie', *Hidden waters*. 7:8–22. doi: 10.1017/S1026881200079587

7 ANEXOS

7.1 Anexo A. Cuestionario para productores de cerveza artesanal

Análisis de recursos

Análisis de recursos naturales utilizados en la elaboración de bebidas fermentadas (cerveza artesanal)

*Obligatorio

Parte 1 Energía requerida en la elaboración

1. Nombre de la cervecería
2. Capacidad de equipo de cocción *
3. Capacidad de cada fermentador y número de fermentadores *
4. ¿Cuántas cocciones realiza por mes? *

5. ¿Cuánto es la producción mensual aproximada? *
6. Realiza doble cocción * Elija una respuesta.
- Si, el equipo de producción es la mitad de la capacidad de mi fermentador
 - No, el equipo de producción es igual a la capacidad de mi fermentador
 - Realizo más de dos cocciones cada vez que produzco cerveza para llenar un fermentador. Especifique cuantas
 - Otro:
7. ¿De qué capacidad es cada una? En caballos de fuerza o kW, para que tiene destinada dicha bomba*
- Ej. Bomba de glicol, bomba para recirculado etc.
- Bomba 1
 - Bomba 2
 - Bomba 3
 - Bomba 4
 - Bomba 5
 - Bomba 6
 - Bomba 7
 - Bomba 8
8. ¿Cuál es el tiempo promedio requerido para transferir el líquido en todo el proceso? * Esto es para determinar cuánto tiempo esta prendida las bombas destinadas a la transferencia de mosto y agua
9. ¿Cuál de los siguientes métodos utiliza para llegar a la temperatura deseada del agua?
- Gas por tubería
 - Gas L.P.
 - Resistencias (energía eléctrica) Especifique los kW
 - Por medio de vapor (Caldera) Especifique de cuantos litros es su caldera
 - Otro:
10. Tiempo promedio que tarda en llevar el agua a la temperatura deseada *
- Para la maceración
 - Para el lavado
 - Para el hervor

11. ¿Cuánto tiempo promedio permanece en hervor el mosto? *
12. ¿Cómo enfría el mosto para que llegue al fermentador? * Describa como es el proceso, si reutiliza el agua, si tiene una bomba específica para este proceso y si tiene sistema de enfriamiento para el agua a utilizar.
13. En caso de no tener un depósito para reutilizar el agua. ¿Cuánta agua promedio requiere para enfriar el mosto? (litros)*
14. Si su sistema utiliza un cuarto frío o refrigeración interna, indique cuanto tiempo dura el mosto en:
- Fermentador
 - Brite tank
15. ¿Cuenta con algún otro equipo que utilice energía para la producción? Especifique kW del equipo y el tiempo de uso, por elaboración * Seleccione todos los que correspondan.
- Refrigeradores
 - Cuartos fríos
 - Iluminación
 - Campana de extracción
 - Otro:

Parte 2 Insumos y su disposición

16. Kilogramos o libras de malta promedio por maceración *
17. Kilogramos o libras de lúpulo promedio por maceración *
18. Cantidad de agua purificada utilizada por elaboración (litros) *
19. Obtención del agua purificada * Seleccione una opción
- Agua potable, tratada en la cervecería, especificar proceso
 - Agua proporcionada por una compañía de agua purificada. Especificar cuantas veces asiste el proveedor mensualmente. En caso de utilizar bomba para transferir el agua especificar caballos de fuerza o kW. Escriba el nombre de la compañía abastecedora, en caso de conocerlo

20. ¿Cómo dispone de la malta? * Seleccione una opción

- Recolección inmediata (no mayor a 24 horas) por parte de un 3ro
- Recolección tardía (mayor a 24 horas, no mayor a 72) por parte de un 3ro
- Recolección mayor a 72 horas por parte de un 3ro
- Disposición semanal por parte de un 3ro
- Disposición por parte de la recolección de residuos por parte del municipio (Basurero municipal)
- Disposición por cuenta propia
- Otro:

21. Mencione como dispone de los siguientes residuos: * Ej. Disposición por cuenta propia, por parte de un tercero, sistema de recolección municipal, desagüe.

- Lúpulo
- Levadura

Parte 3 Transporte de Insumos

22. Explique: como llegan los insumos a la cervecería, locación del distribuidor, cuantas veces al mes adquiere insumos. * Describir de donde provienen sus insumos, si son de algún proveedor local o externo y cuantas veces al mes llegan los insumos a su cervecería.

23. Si compra directamente a algún distribuidor especifique:

- Marca de su vehículo
- Modelo
- Año
- Cilindros
- Litros del motor

Parte 4 Sanitización y limpieza

24. ¿Qué productos utiliza para los siguientes y cuantos litros promedio utiliza mensualmente?

- Sanitización:
- Limpieza equipo de producción:
- Limpieza en general:
- Otros:

25. ¿Cuántos litros de agua utiliza para los siguientes procesos? En caso de contar con alguna factura de su recibo de agua favor de anexarla para tener información más precisa

- Limpieza de equipo de producción
- Sanitización

- Lavado de barriles
- Limpieza en general
- Otros:

26. Métodos de tratamiento de aguas residuales. ¿Como dispone de las aguas que utiliza para la limpieza de su cervecería?

Parte 5 Distribución

27. Porcentaje de la venta total de su producto*

- Embarrilado %
- Enlatado %
- Embotellado %

28. ¿Cómo es su distribución en porcentaje? *

- Local %
- Estatal %
- Nacional %
- Internacional %

29. ¿Cómo realiza dicha distribución? Puede seleccionar varias casillas*

- Distribución por parte de un tercero recolectando directamente en la cervecería
- Distribución por parte de un tercero recolectando en punto de mutuo acuerdo. Mencione dirección aproximada del punto de recolección
- Distribución por cuenta propia

30. Datos del vehículo distribuidor, en caso de ser el mismo que el vehículo utilizado para recolección de insumos omitir esta respuesta*

- Modelo
- Año
- Cilindros
- Marca de su vehículo
- Litros del motor

7.2 Anexo B. Imágenes del simulador



Figura 7.2 Datos generales de la cervecería.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
52	Capacidad de cada bomba																	
53	Actividad que realizas y fluido de trabajo de la bomba																	
54	Bomba 1		1		hp	Caballo de fuerza	Bomba glycol		2									
55	Bomba 2		1		hp	Caballo de fuerza	Bomba transferencia		3									
56	Bomba 3		1		hp	Caballo de fuerza	Bomba transferencia		3									
57	Bomba 4		1		hp	Caballo de fuerza	Bomba carbonatacion		4									
58	Bomba 5				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
59	Bomba 6				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
60	Bomba 7				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
61	Bomba 8				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
62	Bomba 9				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
63	Bomba 10				hp	Caballo de fuerza	No aplica		1									
64																		
65	Tiempo uso promedio cada bomba																	
66																		
67	Bomba 1		12		h	horas	7		días									
68	Bomba 2		2		h	horas	3		días									
69	Bomba 3		2		h	horas	3		días									
70	Bomba 4		2		h	horas	3		días									
71	Bomba 5		2		h	horas	3		días									
72	Bomba 6		2		h	horas	3		días									
1. Datos Generales Cervceria																		
2. Transp. Materia Prima																		
3. Electricidad																		
4. Consumo de Ga ...																		

Figura 7.3 Datos de las bombas utilizadas para la producción de cerveza.

Parte 2 Insumos y su disposición														
Cantidad de malta promedio por maceración														
Malta Base 1	1	kg	kilogramos	Variedad de Malta	Malting Company of Ireland	Procedencia	Irlanda	11						
Transporte	Barco			3	Destino	Tijuana	1							
Malta Base 2	1	kg	kilogramos	Variedad de Malta	Patagonia	Procedencia	Chile	13						
Transporte	Camión			2	Destino	Tijuana	1							
Malta Especialidad 1	1	kg	kilogramos	Variedad de Malta	Munton's	Procedencia	Reino Unido	12						
Transporte	Barco			3	Destino	Mexicali	2							
Malta Especialidad 2	1	kg	kilogramos	Variedad de Malta	Weyermann	Procedencia	Alemania	18						

Figura 7.4. Consumo de gas para la elaboración de cerveza.

Cantidad de levadura promedio por maceración														
Levadura Seca	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	Coopers	Procedencia	Australia	2						
Transporte	Barco			3	Destino	Tijuana	1							
Levadura Líquida	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	White Labs	Procedencia	Estados Unidos	12						
Transporte	Camión			2	Destino	Chihuahua	5							
Levadura 1	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	Munton's	Procedencia	Reino Unido	9						
Transporte	Avión			5	Destino	Ensenada	3							

Cantidad de copos de cereal promedio por maceración														
Copos de cereal	1	kg	kilogramos											
Copos de cebada								1						
Camión								2						

Figura 7.5 Kilogramos de malta para la elaboración de cerveza.

Cantidad de lúpulo promedio por maceración														
Lúpulo 1	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	BSG Hops	Procedencia	Estados Unidos	1						
Transporte	Camión			2	Destino	Tijuana	1							
Lúpulo 2	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	Charles Faram	Procedencia	Reino Unido	2						
Transporte	Barco			3	Destino	Guadalajara	6							
Lúpulo 3	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	Hop France	Procedencia	Francia	8						
Transporte	Tren			4	Destino	Merida	8							
Lúpulo 4	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	Slovchmel	Procedencia	Eslovaquia	18						
Transporte	Avión			5	Destino	Colima	7							
Lúpulo 5	1	kg	kilogramos	Variedad de Lúpulo	HVG Hops	Procedencia	Alemania	13						
Transporte	Camión			2	Destino	Monterrey	9							

Figura 7.6 Kilogramos de lúpulo para la elaboración de cerveza.

Parte 4 Sanitización y limpieza									
Productos utiliza y volumen promedio utilizado al mes									
Sanitización									
Producto 1	Ácido Peracético Générico		Litros		Litros	5			
Producto 2	BTF Iodophor National Chemicals Iv		Litros		Litros	1			
Producto 3	IO Star Sanitizer Five Star		Litros		Litros	2			
Producto 4	Saniclean Five Star		Litros		Litros	3			
Producto 5	Star San Five Star		Litros		Litros	4			
Limpieza equipo de producción									
Producto 1	Oxygen Wash Fermenter's Favorite		Litros		Litros	2			
Producto 2	BLC National Chemicals Inc.		Litros		Litros	3			
Producto 3	B Brite Cleanser		Litros		Litros	4			
Producto 4	Keg & Carboy Cleaning Tablets Crg		Litros		Litros	5			
Producto 5	PBW Five Star		Litros		Litros	1			

Figura 7.8 Productos de desinfección y limpieza utilizados en la elaboración de cerveza.

Parte 5 Distribución									
Porcentaje de la venta total de su producto									
Embarrilado	30	%	Total barriles comprados para la cerveceria	2	barriles				
Enlatado	30	%	Total latas	1014.085	latas				
Embotellado no retornable	40	%	Total botellas	1352.113	botellas				
Embotellado retornable	0	%	Total botellas	0	botellas				
Porcentaje de distribución									
Local	30	%							
Estatal	30	%							
Nacional	30	%							
Internacional	10	%							
Como realiza dicha distribución									
Metodo 1	Distribución por parte de un tercero recolectando directamente en la cerveceria				1				
Distancia 1	100	km/dia	kilometros/dia						
Consumo 1	10	km/l	Litros/kilometros						
Vehículo 1	Coche (gasolina)				3				
Metodo 2	Distribución por parte de un tercero recolectando directamente en la cerveceria				1				

Figura 7.9 Distribución del producto.

Parte 5 Distribución									
Porcentaje de la venta total de su producto									
Embarrilado	30	%	Total barriles comprados para la cerveceria	2	barriles				
Enlatado	30	%	Total latas	1014.085	latas				
Embotellado no retornable	40	%	Total botellas	1352.113	botellas				
Embotellado retornable	0	%	Total botellas	0	botellas				
Porcentaje de distribución									
Local	30	%							
Estatal	30	%							
Nacional	30	%							
Internacional	10	%							
Como realiza dicha distribución									
Metodo 1	Distribución por parte de un tercero recolectando directamente en la cerveceria				1				
Distancia 1	100	km/dia	kilometros/dia						
Consumo 1	10	km/l	Litros/kilometros						
Vehículo 1	Coche (gasolina)				3				
Metodo 2	Distribución por parte de un tercero recolectando directamente en la cerveceria				1				

Figura 7.10 Vehículos de distribución y botón de cálculo.

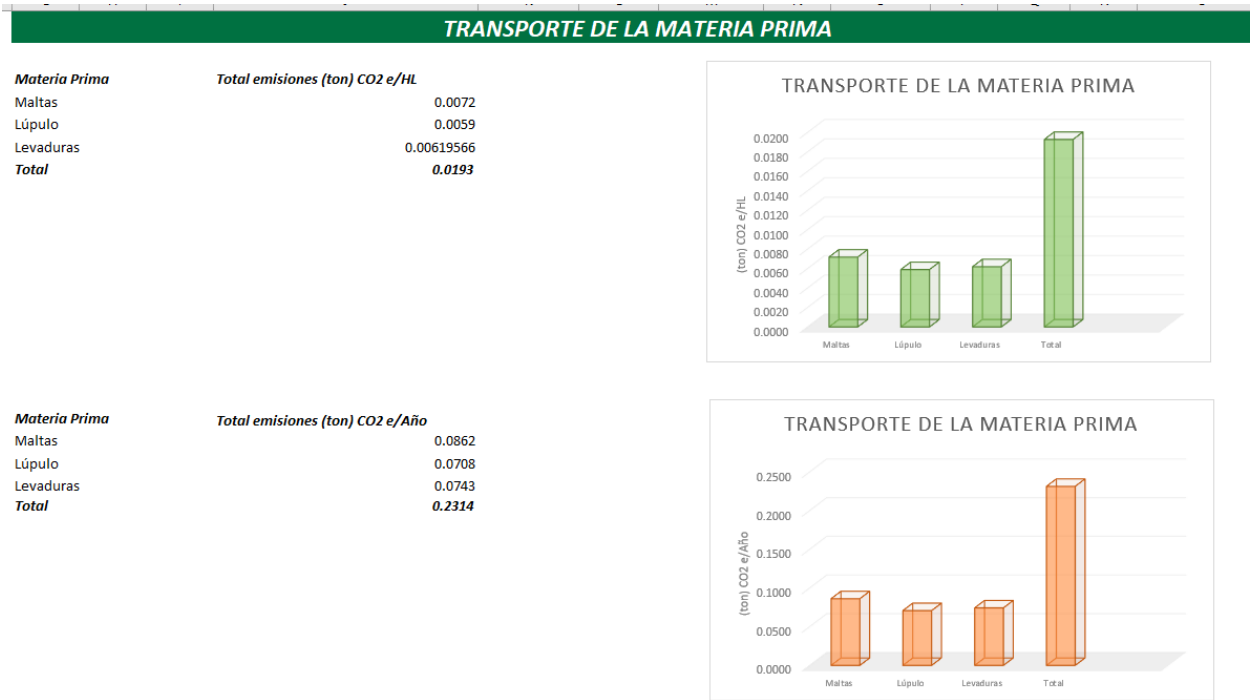


Figura 7.11 Resultados del transporte de materia prima.

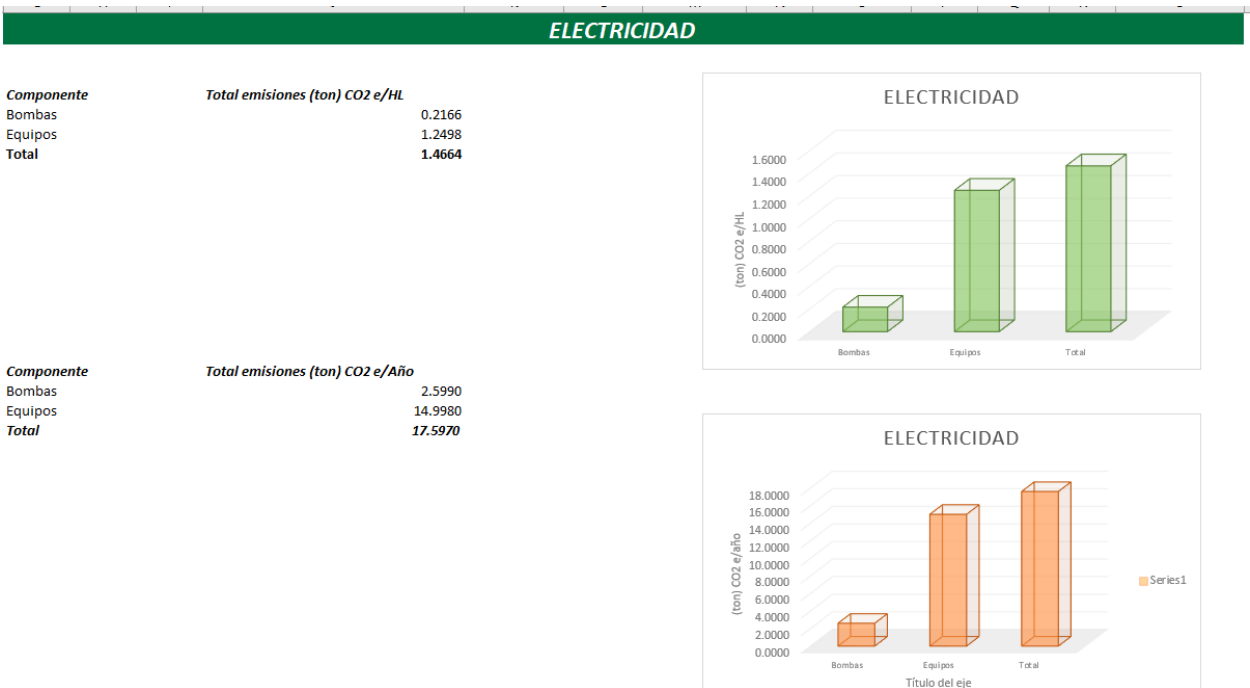


Figura 7.12 Resultados del consumo eléctrico.

Insumos

Agricultura y elaboración

Maltas
Lúpulo
Levaduras

Total

Total emisiones (ton) CO₂ e/HL

1.7693E-02
5.5000E-04
5.3505E-04
1.8778E-02

Total huella hídrica (m³)/HL

101.19
10.1625
0.00204
111.35454

Agricultura y elaboración

Maltas
Lúpulo
Levaduras

Total

Total emisiones (ton) CO₂ e/Año

2.5300E+00
7.8650E-02
7.6512E-02
2.6852E+00

Total huella hídrica (m³)/Año

1.4470E+04
1.4532E+03
2.9172E-01
15923.69922

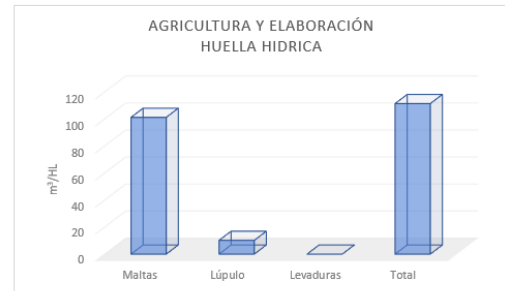
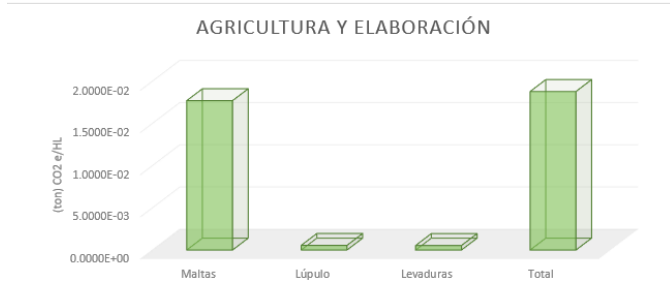


Figura 7.13 Resultados de los insumos.

Trasporte

Vehículo 1
Vehículo 2
Vehículo 3
Vehículo 4
Vehículo 5
Total

Total emisiones (ton) CO₂ e

0.0024
0.2942
1.1802
0.0000
0.0000
1.4768

Trasporte

Trasporte
Vehículo 1
Vehículo 2
Vehículo 3
Vehículo 4
Total

Total emisiones (ton) CO₂ e/HL

0.0009
0.1070
0.4292
0.0000
0.0000
0.5370

Trasporte

Vehículo 1
Vehículo 2
Vehículo 3
Vehículo 4
Vehículo 5
Total

Total emisiones (ton) CO₂ e/Año

0.1224
15.2991
61.3724
0.0000
0.0000
76.7940

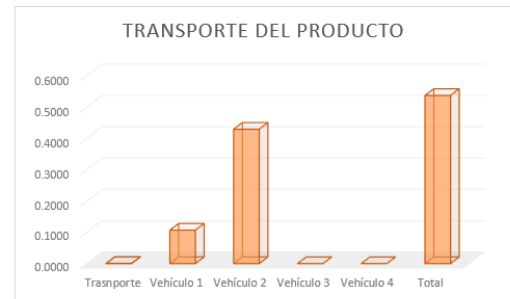
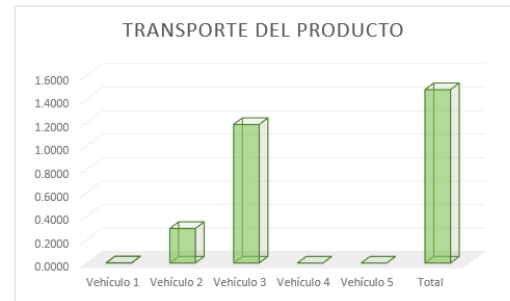
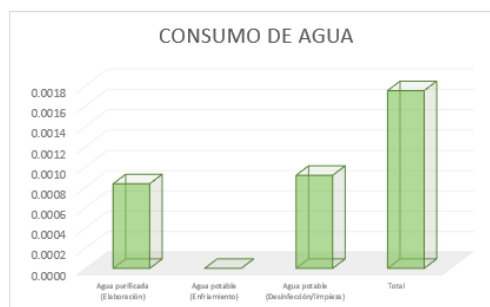


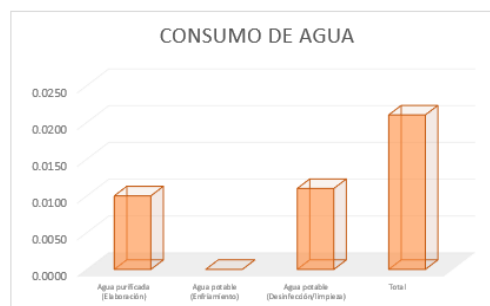
Figura 7.14 Resultados del transporte del producto.

CONSUMO DE AGUA

Actividad	Total emisiones (ton) CO ₂ e/HL
Agua purificada (Elaboración)	0.0008
Agua potable (Enfriamiento)	0.0000
Agua potable (Desinfección/limpieza)	0.0009
Total	0.0018



Actividad	Total emisiones (ton) CO ₂ e/Año
Agua purificada (Elaboración)	0.0100
Agua potable (Enfriamiento)	0.0000
Agua potable (Desinfección/limpieza)	0.0110
Total	0.0210

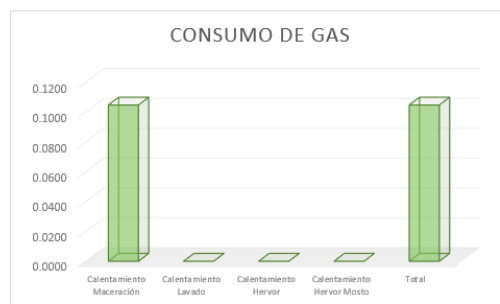


Actividad	Total agua (m ³ /hl)
Agua purificada (Elaboración)	0.3
Agua potable (Enfriamiento)	0
Agua potable (Desinfección/limpieza)	0.33
Total	0.6300

Figura 7.15 Resultado del consumo de agua.

CONSUMO DE GAS

Actividad	Total emisiones (ton) CO ₂ e/HL
Calentamiento Maceración	0.1048
Calentamiento Lavado	0.0000
Calentamiento Hervor	0.0000
Calentamiento Hervor Mosto	0.0000
Total	0.1048



Actividad	Total emisiones (ton) CO ₂ e/Año
Calentamiento Maceración	14.9835
Calentamiento Lavado	0.0000
Calentamiento Hervor	0.0000
Calentamiento Hervor Mosto	0.0000
Total	14.9835

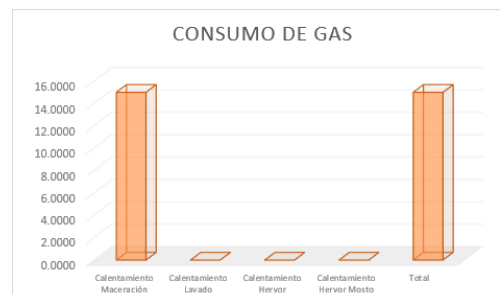


Figura 7.16 Resultado del consumo de gas.

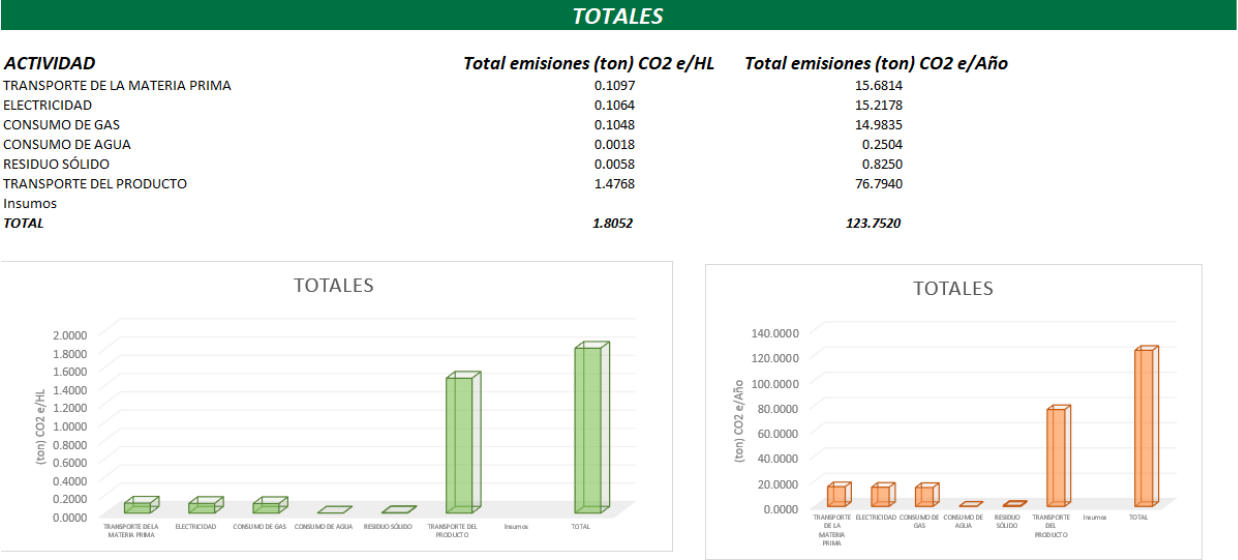


Figura 7.17 Resultados de la huella de carbono.

ACTIVIDAD	Total huella hídrica (m3)/HL	Total huella hídrica (m3)/Año
HUELLA HÍDRICA VERDE	113.0223	15923.3660
HUELLA HÍDRICA AZUL	0.3000	43.2000
HUELLA HÍDRICA GRIS	0.3300	47.5200
HUELLA HÍDRICA TOTAL	113.6523	16014.0860

Cerrar

Figura 7.18 Resultados de la huella hídrica.



Figura 7.19 Interfaz del simulador en Visual Basic.



Figura 7.20 Datos de los insumos necesarios para la elaboración de cerveza (malta, lúpulo, levadura y envases).



Figura 7.21 Datos de los procesos para la elaboración de cerveza.



Figura 7.22 Resultados de la huella de carbono e hídrica.

7.3 Anexo C. Tablas de factores de emisión y utilización de agua

Tabla 7.1 Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono y la huella hídrica.

Huellas Carbono	
Cebada ^{1,8}	0.297 kg GEI/kg
Lúpulo ^{2,8}	0.220 kg GEI/kg
Levadura seca ^{3,8}	3.204 kg GEI/kg
Levadura líquida ³	0.363 kg GEI/kg
Malteado ⁴	0.292 kg GEI/kg
Fermentación ⁵ (alcohol)	.002 kg GEI/kg
Malteado vapor caliente ⁵	0.026 kg GEI/kg
Malteado gas natural ⁵	0.420 kg GEI/kg
Barriles ⁴	6800 kg GEI/kg
Residuos ⁴	13.9 kg GEI/kg
Incineración de residuos ⁴	551.19 kg GEI/kg
Vidrio un solo uso ^{5,7}	1957.3 kg GEI/kg
Vidrio reusó ⁵	145 kg GEI/kg
Plástico PET	3.5 kg GEI/kg
Aluminio ⁵	8.97 kg GEI/kg
Carbonatación ⁶	0.497 kg GEI/kg
Gas LP ^{9,11}	3 kg GEI/kg
Gasolina ^{9,11}	3.139 kg GEI/kg
Diesel ^{9,11}	3.145 kg GEI/kg
Ciclo Combinado ¹⁰	490 g GEI/kWh
Huella Hídrica	
Cebada ^{1,2}	1423 m ³ /ton
Lúpulo ^{1,3}	4065 m ³ /ton
Malta ¹	1950 m ³ /ton
Malta tostada ¹	2437 m ³ /ton
Aluminio ⁴	88 m ³ /ton
Vidrio ⁴	7 m ³ /ton
Vidrio retornable ⁵	1.68 m ³ /ton
Barril Acero Inoxidable ⁶	4.22 m ³ /ton

Fuentes huella de carbono: (Altuna *et al.*, 2012)¹, (AstraZeneca, 2016)², (COFALEC, 2018)³, (Shin y Searcy, 2018)⁴, (Junta de Andalucía, 2019)⁵, (Sepúlveda, 2012)⁶, (Fat Tire, 2008)⁷, (Spaulding, y Mcveigh, 2013)⁸, (INECC, 2014)⁹, (CFE, 2016)¹⁰, (EPA, 2020)¹¹. Fuentes huella hídrica: (Hoekstra y Mekonnen, 2010)¹, (Zygmunt, 2007)², (AstraZeneca, 2016)³, (WWF y SAAB Miller, 2009)⁴, (Coca-Cola, 2017)⁵, (International Finance Corporation, 2013)⁶.

7.4 Anexo D. Cálculos del análisis de varianza

A continuación, se muestran los cálculos y resultados de los ANOVA, se efectuaron siete análisis en total donde se analizó diferencia entre los resultados obtenidos por los simuladores comerciales y el SHCCA. Entonces observa que, cuando el valor F se encuentra por debajo del valor F crítico, se puede decir que los resultados de ambos simuladores son estadísticamente iguales.

En las siguientes tablas podemos observar la validación de dicha afirmación, así como la comparación de resultados de los simuladores.

Tabla 7.2 Análisis de varianza general

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Cervecería 1	6	-0.0818	-0.0136	0.0023
Cervecería 2	6	-0.0879	-0.0146	0.0023
Cervecería 3	6	-0.0821	-0.0137	0.0023
Cervecería 4	6	-0.0874	-0.0146	0.0023
Cervecería 5	6	-0.0714	-0.0119	0.0024
Cervecería 6	6	-0.0700	-0.0117	0.0024
Cervecería 7	6	-0.0823	-0.0137	0.0023
Cervecería 8	6	-0.0868	-0.0145	0.0023
Cervecería 9	6	-0.0726	-0.0121	0.0024
Cervecería 10	6	-0.0831	-0.0138	0.0023
Cervecería 11	6	-0.0830	-0.0138	0.0023
Cervecería 12	6	-0.0724	-0.0121	0.0024
Cervecería 13	6	-0.0730	-0.0122	0.0024
Cervecería 14	6	-0.0716	-0.0119	0.0024
Cervecería 15	6	-0.0700	-0.0117	0.0024

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.10E-04	14	7.86E-06	3.33E-03	1	1.82
Dentro de los grupos	1.77E-01	75	2.37E-03			
Total	1.77E-01	89				

Tabla 7.3 Comparación de resultados del SHCCA y simuladores comerciales

	Energía Eléctrica		Consumo Gas		Consumo Agua		Insumos Lejos		Insumos Cerca		Transporte Producto	
	SHCCA	CEBEK	SHCCA	EPE	SHCCA	BID	SHCCA	CEBEK	SHCCA	CEBEK	SHCCA	EPE
Cervecería 1	4.43	4.60	1.21	1.19	0.24	0.22	5.87	5.87	0.89	0.89	0.00	0.00
Cervecería 2	1.76	1.83	1.45	1.43	0.08	0.07	8.15	8.16	1.24	1.24	8.28	8.23
Cervecería 3	2.41	2.50	0.77	0.76	0.12	0.11	4.41	4.42	0.66	0.66	0.00	0.00
Cervecería 4	0.87	0.91	0.51	0.51	0.24	0.22	5.53	5.53	0.84	0.84	9.17	9.11
Cervecería 5	3.14	3.26	1.08	1.07	0.12	0.11	3.99	4.00	0.61	0.61	0.46	0.46
Cervecería 6	13.37	13.89	1.32	1.30	0.09	0.08	6.20	6.22	0.97	0.97	0.91	0.92
Cervecería 7	6.01	6.25	1.38	1.36	0.09	0.08	3.60	3.62	0.56	0.56	3.00	2.98
Cervecería 8	1.36	1.41	0.79	0.78	0.08	0.08	5.02	5.03	0.76	0.76	6.36	6.32
Cervecería 9	1.58	1.64	1.07	1.05	0.09	0.09	6.32	6.33	0.97	0.97	0.29	0.29
Cervecería 10	7.37	7.66	0.77	0.76	0.09	0.08	5.26	5.28	0.81	0.81	1.41	1.41
Cervecería 11	4.42	4.60	0.77	0.76	0.09	0.08	5.14	5.16	0.79	0.79	0.85	0.85
Cervecería 12	2.12	2.20	1.78	1.76	0.12	0.11	6.65	6.66	1.02	1.02	0.09	0.09
Cervecería 13	4.70	4.88	0.94	0.93	0.15	0.13	5.16	5.16	0.78	0.78	0.12	0.13
Cervecería 14	1.90	1.98	0.70	0.69	0.03	0.03	1.75	1.76	0.26	0.26	0.52	0.52
Cervecería 15	2.24	2.33	1.36	1.34	0.06	0.05	7.01	7.04	1.08	1.08	0.08	0.08
Promedio	3.85	4.00	1.06	1.05	0.11	0.10	5.34	5.35	0.81	0.81	2.10	2.09

Tabla 7.4 Análisis de varianza consumo de gas

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	15	1.59E-01	1.06E-02	1.23E-05
Columna 2	15	1.57E-01	1.05E-02	1.19E-05

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.69E-07	1	1.69E-07	1.40E-02	9.07E-01	4.19
Dentro de los grupos	3.39E-04	28	1.21E-05			
Total	3.39E-04	29				

Tabla 7.5 Análisis de varianza consumo de agua

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	15	1.69E-02	1.13E-03	3.40E-07
Columna 2	15	1.53E-02	1.02E-03	2.78E-07

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8.69E-08	1	8.69E-08	0.2807	0.6004	4.19
Dentro de los grupos	8.67E-06	28	3.09E-07			
Total	8.76E-06	29				

Tabla 7.6 Análisis de varianza transporte de insumos lejos

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	15	8.01E-01	5.34E-02	2.37E-04
Columna 2	15	8.02E-01	5.35E-02	2.38E-04

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	9.66E-08	1	9.67E-08	4.07E-04	0.9840	4.19
Dentro de los grupos	6.65E-03	28	2.38E-04			
Total	6.65E-03	29				

Tabla 7.7 Análisis de varianza transporte de insumos cerca

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	15	1.22E-01	8.15E-03	5.67E-06
Columna 2	15	1.22E-01	8.15E-03	5.67E-06

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1E-11	1	1E-11	1.76E-06	0.9989	4.19
Dentro de los grupos	1.59E-04	28	5.67E-06			
Total	1.59E-04	29				

Tabla 7.8 Análisis de varianza transporte del producto

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	15	3.15E-01	2.10E-02	9.99E-04
Columna 2	15	3.14E-01	2.09E-02	9.87E-04

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6.56E-08	1	6.56E-08	6.60E-05	0.9935	4.19
Dentro de los grupos	2.78E-02	28	9.93E-04			
Total	2.78E-02	29				

Tabla 7.9 Análisis de varianza energía eléctrica

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	15	5.77E-01	3.85E-02	1.04E-03
Columna 2	15	5.99E-01	4.00E-02	1.12E-03

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.68E-05	1	1.69E-05	1.56E-02	0.9014	4.19
Dentro de los grupos	3.03E-02	28	1.08E-03			
Total	3.03E-02	29				

7.5 Anexo E. Solicitud de Modelo de Utilidad



Mexicali, Baja California a 22 de abril de 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
PRESENTE. -

Por este medio hago constar mi participación en la elaboración de la obra intitulada **Simulador de Huella de Carbono para Cervecerías Artesanales (SHCCA – 2021)** en la rama de obra **programa de cómputo**; realizada en coautoría con: **Paulina Perea Eguía, Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki, Crisiel Hernández Martínez, Oscar Adrián Morales Contreras**, misma que fue encomendada por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y elaborada en los términos del artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor aquí citada:

Artículo 83.- Salvo pacto en contrario, la persona física o moral que comisione la producción de una obra o que la produzca con la colaboración remunerada de otras, gozará de la titularidad de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponderán las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección sobre este tipo de creaciones.

La persona que participe en la realización de la obra, en forma remunerada, tendrá el derecho a que se le mencione expresamente su calidad de autor, artista, intérprete o ejecutante sobre la parte o partes en cuya creación haya participado.

Así como lo dispuesto por los artículos 5, 6, 9, 11 y 23 del **Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California**.

Por lo que reconozco que los derechos patrimoniales, así como los correspondientes a la divulgación, integridad de la obra y de colección les pertenecen a la UABC, en virtud de la remuneración que recibí de ésta para su realización.

Hago constar que el contenido de la obra es original, y que la UABC se libera de cualquier responsabilidad respecto de objeciones o controversias sobre la misma.

Firmo de conformidad la presente para los efectos legales y administrativos necesarios, sin que medie vicio alguno que impida su celebración, plena validez y existencia.



Emilio Hernández Martínez
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Campus Tijuana

Universidad Autónoma de Baja California

Figura 7.23 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Dr. Emilio Hernández Martínez



Mexicali, Baja California a 22 de abril de 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
PRESENTE. -

Por este medio hago constar mi participación en la elaboración de la obra intitulada **Simulador de Huella de Carbono para Cervecerías Artesanales (SHCCA – 2021)** en la rama de obra **programa de cómputo**; realizada en coautoría con: **Emilio Hernández Martínez, Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki, Crisiel Hernández Martínez, Oscar Adrián Morales Contreras**, misma que fue encomendada por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y elaborada en los términos del artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor aquí citada:

Artículo 83.- Salvo pacto en contrario, la persona física o moral que comisione la producción de una obra o que la produzca con la colaboración remunerada de otras, gozará de la titularidad de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponderán las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección sobre este tipo de creaciones.

La persona que participe en la realización de la obra, en forma remunerada, tendrá el derecho a que se le mencione expresamente su calidad de autor, artista, intérprete o ejecutante sobre la parte o partes en cuya creación haya participado.

Así como lo dispuesto por los artículos 5, 6, 9, 11 y 23 del **Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California**.

Por lo que reconozco que los derechos patrimoniales, así como los correspondientes a la divulgación, integridad de la obra y de colección les pertenecen a la UABC, en virtud de la remuneración que recibí de ésta para su realización.

Hago constar que el contenido de la obra es original, y que la UABC se libera de cualquier responsabilidad respecto de objeciones o controversias sobre la misma.

Firmo de conformidad la presente para los efectos legales y administrativos necesarios, sin que medie vicio alguno que impida su celebración, plena validez y existencia.



Paulina Perea Eguía
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Campus Tijuana

Universidad Autónoma de Baja California

Figura 7.24 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Ing. Paulina Perea Eguía



Mexicali, Baja California a 22 de abril de 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
PRESENTE. -

Por este medio hago constar mi participación en la elaboración de la obra intitulada **Simulador de Huella de Carbono para Cervecerías Artesanales (SHCCA – 2021)** en la rama de obra **programa de cómputo**; realizada en coautoría con: **Emilio Hernández Martínez, Paulina Perea Eguía, Crisiel Hernández Martínez, Oscar Adrián Morales Contreras**, misma que fue encomendada por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y elaborada en los términos del artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor aquí citada:

Artículo 83.- Salvo pacto en contrario, la persona física o moral que comisione la producción de una obra o que la produzca con la colaboración remunerada de otras, gozará de la titularidad de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponderán las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección sobre este tipo de creaciones.

La persona que participe en la realización de la obra, en forma remunerada, tendrá el derecho a que se le mencione expresamente su calidad de autor, artista, intérprete o ejecutante sobre la parte o partes en cuya creación haya participado.

Así como lo dispuesto por los artículos 5, 6, 9, 11 y 23 del **Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California**.

Por lo que reconozco que los derechos patrimoniales, así como los correspondientes a la divulgación, integridad de la obra y de colección les pertenecen a la UABC, en virtud de la remuneración que recibí de ésta para su realización.

Hago constar que el contenido de la obra es original, y que la UABC se libera de cualquier responsabilidad respecto de objeciones o controversias sobre la misma.

Firmo de conformidad la presente para los efectos legales y administrativos necesarios, sin que medie vicio alguno que impida su celebración, plena validez y existencia.



Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Campus Tijuana

Universidad Autónoma de Baja California

Figura 7.25 Solicitud inscripción Instituto de la Propiedad Intelectual Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki