



Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería Civil Industrial
Sede Puerto Montt

PROFESOR PATROCINANTE:
ING. Juan Gamín Muñoz
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

**Cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero
asociadas a la producción de la cerveza Ámbar Lager en la cervecería
Bespoke.**

Trabajo de Titulación
para optar
al título de **Ingeniero Civil Industrial**

SERGIO ORLANDO SEPÚLVEDA GONZÁLEZ

PUERTO MONTT – CHILE
2012

SUMARIO

La cervecería Bespoke inició un proyecto que busca etiquetar las botellas de sus cervezas con su huella de carbono, para diferenciar sus productos, demostrar liderazgo en medio ambiente y responsabilidad corporativa.

La huella de carbono de un producto considera las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), medidas en dióxido de carbono equivalente, generadas durante los procesos de: fabricación y transporte de las materias primas; fabricación del producto; distribución y venta; uso por el consumidor; y eliminación y/o reciclaje de los desechos.

Esta investigación, se enmarcó en la primera etapa del proyecto de etiquetado de carbono de la cervecería Bespoke. En esta etapa, se cuantificaron solo las emisiones de GEI generadas durante los procesos de fabricación del producto seleccionado, la cerveza Ámbar Lager.

Para cuantificar las emisiones de GEI, la investigación utilizó la metodología de cálculo propuesta por PAS 2050, una metodología desarrollada por British Standards Institution para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de bienes y servicios.

Los procesos productivos de la cerveza Ámbar Lager, en los que se identificaron fuentes de emisión de GEI fueron esterilización, maceración, lavado de granos, cocción, fermentación y carbonatación.

Las fuentes de emisión de GEI se relacionaron con el consumo de energía eléctrica, en los procesos de esterilización y lavado de granos; con el consumo de gas licuado de petróleo, en los procesos de maceración y cocción; y con la fermentación alcohólica producida por las levaduras, en los procesos de fermentación y carbonatación.

Como resultado de la investigación, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante la fabricación de la cerveza Ámbar Lager se cuantificaron en 49,104 gramos de dióxido de carbono equivalente por cada botella de cerveza de 330 centímetros cúbicos.

Los procesos productivos en que se generaron la mayoría de las emisiones fueron los procesos de fermentación y cocción, con 17,660 y 16,104 gramos de dióxido de carbono equivalente por botella respectivamente. La combustión de gas licuado de petróleo representó al 47,7% de las emisiones totales asociadas a una botella, seguido por la producción de alcohol etílico con un 38,9% y el consumo de energía eléctrica con un 13,4%.

ÍNDICE

	Página
PORTADA.....	i
SUMARIO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
NOMENCLATURA.....	xii

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Descripción de la empresa	2
1.4. Descripción de la cerveza Ámbar Lager	3
1.5. Planteamiento del problema	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Cambio climático	5
2.1.1. Efecto invernadero natural	5
2.1.2. Gases de efecto invernadero	6
2.1.3. Cambio climático.....	7
2.2. Huella de carbono y etiquetado de carbono	10
2.2.1. Huella de carbono	10
2.2.2. Etiquetado de carbono	10
2.3. PAS 2050	11
2.3.1. Principios para la aplicación de PAS 2050.....	11
2.3.2. Límites del sistema	12
2.3.3. Fuentes de emisión de GEI.....	13
2.3.4. Normas de calidad de datos	14
2.4. Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.....	15
2.4.1. Paso 1: Construcción de un mapa de procesos.....	15
2.4.2. Paso 2: Definición de los límites del sistema.	16
2.4.3. Paso 3: Recopilación de datos.....	16
2.4.4. Paso 4: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.	16
2.4.5. Paso 5: Comprobación de la incertidumbre	16

2.5. Emisiones de GEI asociadas a la utilización de energía eléctrica	17
2.5.1. Sistemas Interconectado Central	17
2.5.2. Factor de emisión del SIC	17
2.6. Emisiones de GEI asociadas a la combustión de gas licuado de petróleo	19
2.6.1. Factores de emisión de combustión estacionaria	19
2.4.3. Poder calorífico y densidad de combustibles	20
2.7. Emisiones de GEI asociadas al proceso de fermentación alcohólica	21
3. DISEÑO METODOLÓGICO	22
3.1. Descripción del proceso productivo de la cerveza Ámbar Lager	23
3.1.1. Lavado, sanitizado y esterilización	23
3.1.2. Molienda	23
3.1.3. Macerado	23
3.1.4. Lavado de granos	24
3.1.5. Cocción	24
3.1.6. Enfriado	24
3.1.7. Fermentación	25
3.1.8. Embotellado	25
3.1.9. Carbonatación	26
3.1.10. Control de calidad	26
3.2. Paso 1: Mapa de procesos	27
3.3. Paso 2: Límites del sistema	28
3.4. Paso 3: Recolección de datos	29
3.4.1. Herramientas, unidades de medida y metodología de recolección de datos	29
3.4.2. Datos asociados a los procesos productivos	32
3.4.3. Datos asociados a constantes	36
3.5. Paso 4: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero	39
3.5.1. Energía eléctrica consumida durante la esterilización y el lavado de granos	39
3.5.2. Gas licuado de petróleo consumido durante el macerado y la cocción	41

3.5.3. Alcohol etílico producido durante la fermentación y la carbonatación	41
3.5.4. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de esterilización y lavado de granos.....	42
3.5.5. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de macerado y cocción.....	43
3.5.6. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de fermentación y carbonatación	44
3.5.7. Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados.	45
3.5.8. Factor de corrección por ensayos destructivos.....	45
4. RESULTADOS.....	47
4.1. Exposición de los resultados	47
4.2. Discusión de los resultados	49
5. CONCLUSIONES	53
6. BIBLIOGRAFÍA	56
7. LINKOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla N° 2.1	Potencial de calentamiento global de algunos gases de efecto invernadero....	6
Tabla N° 2.2	Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.....	7
Tabla N° 2.3	Potencia bruta instalada por tipo de central en el SIC.....	17
Tabla N° 2.4	Factores de emisiones mensuales del SIC.....	19
Tabla N° 2.5	Factores de emisión de combustión estacionaria para CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.....	21
Tabla N° 2.6	Poder calorífico y densidad de combustibles.....	22
Tabla N° 3.1	Origen de las emisiones de GEI por proceso productivo.....	28
Tabla N° 3.2	Datos asociado al proceso de esterilización.....	32
Tabla N° 3.3	Datos asociado al proceso de lavado de granos.....	33
Tabla N° 3.4	Datos asociado al proceso de macerado.....	34
Tabla N° 3.5	Datos asociado al proceso de cocción.....	34
Tabla N° 3.6	Datos asociado al proceso de fermentación.....	35
Tabla N° 3.7	Datos asociado al proceso de carbonatación.....	35
Tabla N° 3.8	Propiedades físicas y atómicas.....	36
Tabla N° 3.9	Factores de emisión.....	37
Tabla N° 3.10	Botellas producidas y destruidas por lote, y volumen de cerveza en una botella.....	38
Tabla N° 4.1	Consumo de energía eléctrica, consumo de gas licuado de petróleo y producción de alcohol etílico por proceso productivo.....	47

Tabla N° 4.2	Emisiones de GEI generadas por proceso productivo evaluado.....	48
Tabla N° 4.3	Emisiones de gases de efecto invernadero por botella de cerveza Ámbar Lager.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura N° 2.1	Esquema del efecto invernadero natural.....	5
Figura N° 2.2	Cambios en la temperatura, el nivel del mar y la cubierta de nieve del Hemisferio Norte.....	9
Figura N° 2.3	Etiquetado de carbono.....	10
Figura N° 2.4	Actividades para las que PAS 2050 establece requerimientos.....	11
Figura N° 2.5	Ilustración de exactitud y precisión.....	14
Figura N° 2.6	Pasos para evaluar las emisiones de GEI de bienes y servicios.....	15
Figura N° 2.7	Reacciones químicas de la fermentación alcohólica.....	21
Figura N° 3.1	Diseño metodológico.....	22
Figura N° 3.2	Mapa de procesos.....	27
Figura N° 4.1	Emisiones de GEI asociadas a cada proceso productivo evaluado.....	49
Figura N° 4.2	Porcentaje de emisiones de GEI asociado a cada proceso productivo evaluado.....	50
Figura N° 4.3	Emisiones de GEI asociadas a cada fuente de origen de emisiones detectada.....	51
Figura N° 4.4	Porcentaje de emisiones de GEI asociado a cada fuente de origen de emisiones.....	52

ÍNDICE DE FORMULAS

		Página
Formula N° 3.1	Cambio de unidades de grados Celsius a grados Kelvin.....	29
Formula N° 3.2	Energía eléctrica consumida por proceso productivo.....	39
Formula N° 3.3	Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua.....	39
Formula N° 3.4	Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del aire.....	40
Formula N° 3.5	Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura de la estructura.....	40
Formula N° 3.6	GLP consumido por proceso productivo.....	41
Formula N° 3.7	Moles de alcohol etílico producidos por proceso productivo.....	41
Formula N° 3.8	Emisiones de GEI asociadas a los procesos de esterilización y lavado de granos.....	42
Formula N° 3.9	Emisiones de GEI asociadas a los procesos de macerado y cocción.....	43
Formula N° 3.10	Relación de moles entre los productos de la fermentación alcohólica.....	44
Formula N° 3.11	Emisiones de GEI asociadas a los procesos de fermentación y carbonatación	44
Formula N° 3.12	Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados.....	45
Formula N° 3.13	Factor de corrección por ensayos destructivos.....	45
Formula N° 3.14	Emisiones de GEI por botella de cerveza Ámbar Lager.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Glosario del proceso productivo de la cerveza Ámbar Lager
Anexo B	Variables y constantes utilizadas en los cálculos
Anexo C	Unidades de medida utilizadas en los cálculos

NOMENCLATURA

AISI	American Iron and Steel Institute
AISI 316	Graduación de acero inoxidable número 316 bajo norma AISI
BSI	British Standards Institution
CDEC-SIC	Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central
CFC	Clorofluorocarbonos
CH ₄	Metano
C ₂ H ₆ O	Alcohol etílico
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucosa
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	Maltosa
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
EE	Energía Eléctrica
FE	Factor de Emisión
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GLP	Gas Licuado de Petróleo
HFC	Hidrofluorocarbonos
H ₂ O	Agua
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
N ₂ O	Óxido Nitroso
PAS	Publicly Available Specification
PFC	Perfluorocarbonos
PCG	Potencial de Calentamiento Global

SF ₆	Hexafluoruro de azufre
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SRM	Standard Reference Method

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Introducción

A todo bien o servicio se le puede calcular las emisiones de gases de efecto invernadero que están asociadas a él, ya sea por su producción o por su prestación, pero, ¿Qué representan estas emisiones? y ¿por qué se deben calcular?

Tal como su nombre lo indica, las emisiones de gases de efecto invernadero de un producto corresponden a la suma total de emisiones de gases de efecto invernadero que se generaron durante una parte o todo el ciclo de vida de un producto. El objetivo de su cálculo responde a la necesidad de cumplir con una normativa, a la decisión de comunicar a los clientes en cuanto contribuye un producto al calentamiento global y al cambio climático, a una estrategia de marketing o a un interés particular de la empresa generadora del producto.

La presente investigación se origina como trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Civil Industrial de la Universidad Austral de Chile, y se enmarca en la primera etapa de un proyecto que busca etiquetar las botellas de esta cerveza Ámbar Lager de la cervecería Bespoke con su huella de carbono.

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la cerveza Ámbar Lager se midieron en gramos de dióxido de carbono equivalente por botella de cerveza ($\text{gCO}_2\text{e/botella}$)

Para cuantificar las emisiones se identificaron los procesos productivos en que se generaban y la fuente de emisión a la que estaban asociadas las emisiones de gases de efecto invernadero, luego se recolectaron los datos de actividad y las constantes necesarias para realizar el cálculo de las emisiones.

Para realizar el cálculo de emisiones, el ciclo de vida del producto se limitó solo a las fuentes de emisión detectadas en los procesos productivos sobre los que la cervecería tiene influencia, es decir, se consideraron solo las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica, el consumo de gas licuado de petróleo y la producción de alcohol etílico, según correspondiera, en los procesos productivos de esterilización, maceración, lavado de granos, cocción, fermentación y carbonatación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de energía eléctrica, consumo de gas licuado de petróleo y fermentación alcohólica de azúcares, generadas durante los procesos productivos de la cerveza Ámbar Lager, elaborada en la cervecería Bespoke.

1.2.2. Objetivos Específicos

Desarrollar un diagnóstico de las fuentes de emisión de GEI en el proceso de producción de la cerveza Ámbar Lager.

Recolectar datos asociados a las fuentes de emisiones de GEI.

Cuantificar las emisiones de GEI de la cerveza Ámbar Lager.

1.3. Descripción de la empresa

La cervecería Bespoke está localizada en el sector de Chamiza, km 11 de la Carretera Austral, a 15 minutos de la ciudad de Puerto Montt.

Bespoke es una cervecería que produce dos variedades de cervezas, Ámbar Lager y Hallertau Ale, ambas solo con malta, agua, lúpulo y levadura, de acuerdo a lo establecido en el Edicto de la Pureza de 1516.

Los proveedores de la empresa se encuentran en las ciudades de Santiago y Temuco, y le proporcionan a la cervecería los siguientes insumos: maltas Pilsen y Caramelo 120, suministradas por MALTEXCO; lúpulos Saaz, Hallertau Tradition y Hallertau Mitterfruh vendidos por Comercial Casa Trinidad; levaduras Ale y Lager provistas por Comercial Mundo Cervecerero; botellas de cerveza ámbar cuello largo y tapas de botellas corona proporcionadas por Comercial Minicervecería.

La capacidad productiva máxima de la cervecería es de 80 litros de cerveza por mes, equivalentes a 240 botellas de 330 centímetros cúbicos de cerveza por mes.

Las actividades productivas de la empresa se clasifican en seis grupo: compra y logística de insumos; almacenamiento de insumos; producción de mosto; embotellado de cerveza; control de calidad; y ventas.

La compra y logística de insumos considera las actividades de cotización de insumos, elección de proveedor de insumos y transportista que los trasladará a la ciudad de Puerto Montt, pago de insumos al proveedor, retiro de insumos y pago del traslado de éstos en las oficinas del transportista.

El almacenamiento de insumos involucra a las actividades de molienda de maltas, empaque de maltas de acuerdo a la masa necesaria en un lote de producción y almacenamiento de maltas.

Las actividades asociadas a la producción de mosto son, macerado, lavado de granos, cocción, enfriado del mosto e inicio de fermentación.

Las actividades relacionadas con el embotellado son, dosificación de cerveza en botellas de vidrio y sellado de éstas con tapas corona.

Durante el control de calidad se realizan actividades que buscan medir el color, aroma, sabor, gasificación y retención de espuma de la cerveza.

Las actividades asociadas a ventas son la difusión del producto, el despacho y la recepción de pagos.

1.4. Descripción de la cerveza Ámbar Lager

La Ámbar Lager es una cerveza perteneciente a la familia de las lager, es una cerveza no filtrada y acondicionada en su propia botella.

Visualmente, la cerveza es de color ámbar cobrizo, correspondiente al valor 21 en la escala de colores SRM (Standard Reference Method). Aunque no fue filtrada, la cerveza se identifica por su alta limpieza lograda por las dos semanas de acondicionamiento en botella. Ámbar lager se caracteriza por su abundante y constante gasificación, y además por poseer una retención de espuma de 90 segundos.

La cerveza tiene un aroma a lúpulo muy notorio que alcanza su mayor intensidad al momento de destapar la botella. Además son perceptibles los aromas acaramelados entregados por la alta participación de malta caramelo en la receta.

Gustativamente, Ámbar Lager posee un cuerpo medio, acompañado de una sensación alcohólica debida a los más de siete grados alcohólicos de la cerveza. Las tempranas y constantes adiciones de lúpulo durante la cocción aportaron el amargor necesario para estabilizar el tono dulce del mosto, obteniendo como resultado el característico sabor de la cerveza.

1.5. Planteamiento del problema

El contexto que enmarcó la presente investigación, por un lado identificó a un creciente número de empresas interesadas en la sustentabilidad ambiental de sus actividades, ya sea por iniciativa propia o por normativas que lo exigen, y por otro lado, a consumidores sensibilizados en temas ambientales como calentamiento global y cambio climático.

Considerando lo anterior, la cervecería Bespoke inicio un proyecto que busca etiquetar las botellas de sus cervezas con su huella de carbono, definiendo como primera etapa del proyecto, cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero sobre las que la cervecería tiene influencia, es decir, los procesos asociados a la fabricación del producto en las instalaciones de la cervecería.

Esta investigación seleccionó a la cerveza Ámbar Lager, producida por Bespoke, como producto de interés y fijó como objetivo, cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de energía eléctrica, consumo de gas licuado de petróleo y fermentación alcohólica de azúcares, generadas durante los procesos productivos de esta cerveza.

Con esta investigación se logró responder a preguntas como ¿en qué procesos se encuentran las principales fuentes de emisiones de GEI? y ¿cuán relevantes son las emisiones asociadas al proceso bioquímico de fermentación alcohólica, en relación a las emisiones generadas por consumos energéticos?

El desarrollo de la investigación se justificó en el valor teórico que generaría para la empresa, permitiéndole a la cervecería conocer la influencia, que las distintas fuentes de emisión detectadas, tienen sobre las emisiones totales asociadas a la cerveza. Además, la investigación podrá ser utilizada por la cervecería para desarrollar nuevas etapas de su proyecto de etiquetado de carbono, permitiéndole, calcular la huella de carbono de la cerveza Ámbar Lager, cuantificar las emisiones de GEI de sus futuros productos, medir las emisiones sobre las que la cervecería tiene influencia, como también aquellas emisiones asociadas a terceros.

2. MARCO TEÓRICO

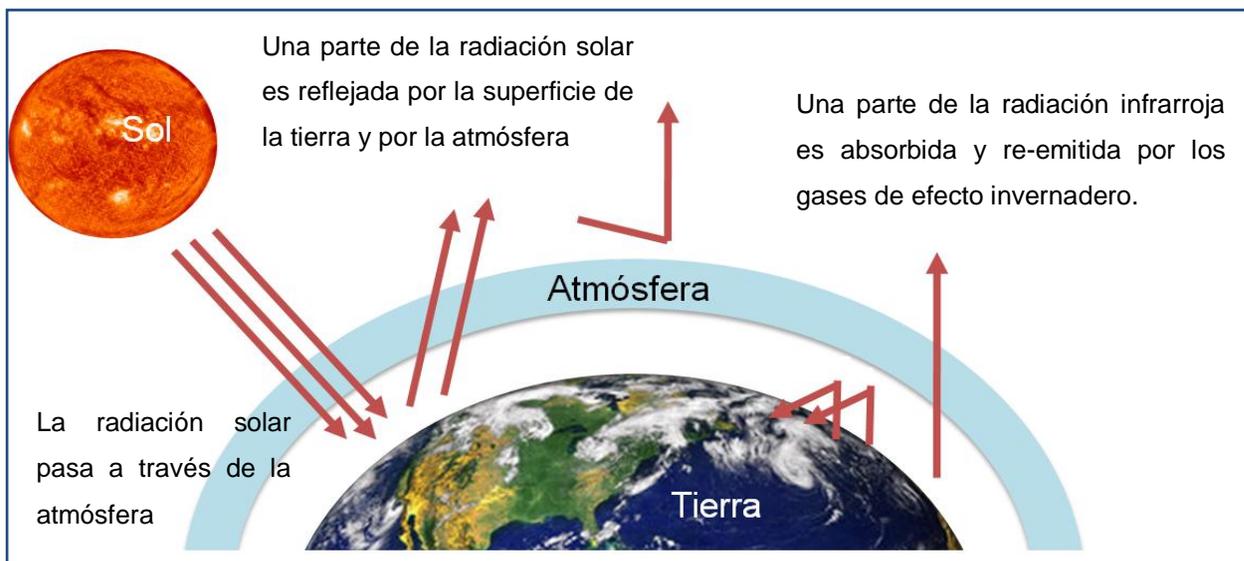
2.1. Cambio climático

2.1.1. Efecto invernadero natural

La atmósfera y el efecto invernadero natural que en ella se produce, son trascendentales para la vida sobre el planeta, tal como hoy se la conoce ya que permite que la temperatura superficial terrestre alcance una media cercana a los 14 [°C], caso contrario la temperatura superficial media sería cercana a los -18 [°C] y no haría posible la vida sobre el planeta. (NEUENSCHWANDER, 2010)

La radiación solar, en forma de ondas electromagnéticas, atraviesa la atmósfera, donde es atenuada en parte por reflexión por las nubes y por absorción por gases como el dióxido de carbono y el vapor de agua. La energía solar que llega a la superficie terrestre, es en su mayor parte absorbida, calentando la tierra y los océanos, y en una parte menor reflejada como radiación infrarroja hacia la atmósfera. Gran parte de esta energía infrarroja es absorbida y vuelta a reflejar por los gases naturales de efecto invernadero, que son vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O), y una parte de ella vuelve a la tierra. (NEUENSCHWANDER, 2010)

Figura N° 2.1: Esquema del efecto invernadero natural



Fuente: BARROS, 2011.

2.1.2. Gases de efecto invernadero

Para British Standards Institution (BSI), “los gases de efecto invernadero (GEI) son responsables de causar el fenómeno reconocido como calentamiento global y cambio climático”. Los mayores GEI naturales son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Otros GEI creados por el hombre como los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) si bien se encuentran en una menor concentración en la atmósfera, tienen un alto potencial de calentamiento global. (BSI, 2008)

Cada gas de efecto invernadero 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. Es así como, el dióxido de carbono tiene un PCG igual a 1, mientras que el metano y óxido nitroso tienen un PCG igual a 25 y 298 respectivamente, es decir, 1 [kg] de óxido nitroso contribuye 298 veces más al cambio climático que 1 [kg] de dióxido de carbono. (BSI, 2008)

Tabla N° 2.1: Potencial de calentamiento global de algunos gases de efecto invernadero

Designación industrial o nombre común	Formula química	PCG
Dióxido de carbono	CO_2	1
Metano	CH_4	25
Óxido nitroso	N_2O	298
Clorofluorocarbono 13	CClF_3	14.400
Hidrofluorocarbono 23	CHF_3	14.800
Perfluorocarbono 116	C_2F_6	12.200
Hexafluoruro de azufre	SF_6	22.800

Fuente: BSI, 2008

El aporte de los distintos gases de efecto invernadero es medido en función del dióxido de carbono, para este fin, la unidad de medida utilizada es el dióxido de carbono equivalente (CO₂e). El valor de dióxido de carbono equivalente se calcula multiplicando la masa de un determinado gas de efecto invernadero por su potencial de calentamiento global. De esta forma, el dióxido de carbono equivalente asociado a 1 [kg] de metano es igual a: 1 [kg metano] * 25 [kgCO₂e/kg metano] = 25 [kg CO₂e]. (BSI, 2008)

2.1.3. Cambio climático

El clima en la tierra evoluciona permanentemente por razones naturales, como el efecto invernadero natural, las variaciones en la actividad solar, la órbita del planeta en torno al sol, la actividad volcánica y variaciones en las corrientes marinas. Sin embargo, desde la revolución industrial la actividad humana ha estado crecientemente alterando la composición de la atmósfera, incrementando la concentración de gases de efecto invernadero en ella. (BARROS, 2011)

La variación natural en las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmósfera durante los últimos 650.000 años ha sido registrada y medida en [ppmv] (partes por millón en volumen) o [ppb] (partes por billón), mediante el análisis de testigos de hielo extraídos en los polos. El estudio de estos testigos de hielo permitió calcular la concentración en la atmósfera de estos gases de efecto invernadero en el periodo preindustrial y en el año 2005. (NEUENSCHWANDER, 2010)

Tabla N° 2.2: Concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera

Gas de efecto invernadero	Margen de variación natural durante los últimos 650.000 años	Concentración en la atmósfera en el periodo preindustrial	Concentración en la atmósfera en el año 2005
CO ₂	180 [ppmv] - 300 [ppmv]	280 [ppmv]	379 [ppmv]
CH ₄	320 [ppb] - 790 [ppb]	715 [ppb]	1.774 [ppb]
N ₂ O	-	270 [ppb]	319 [ppb]

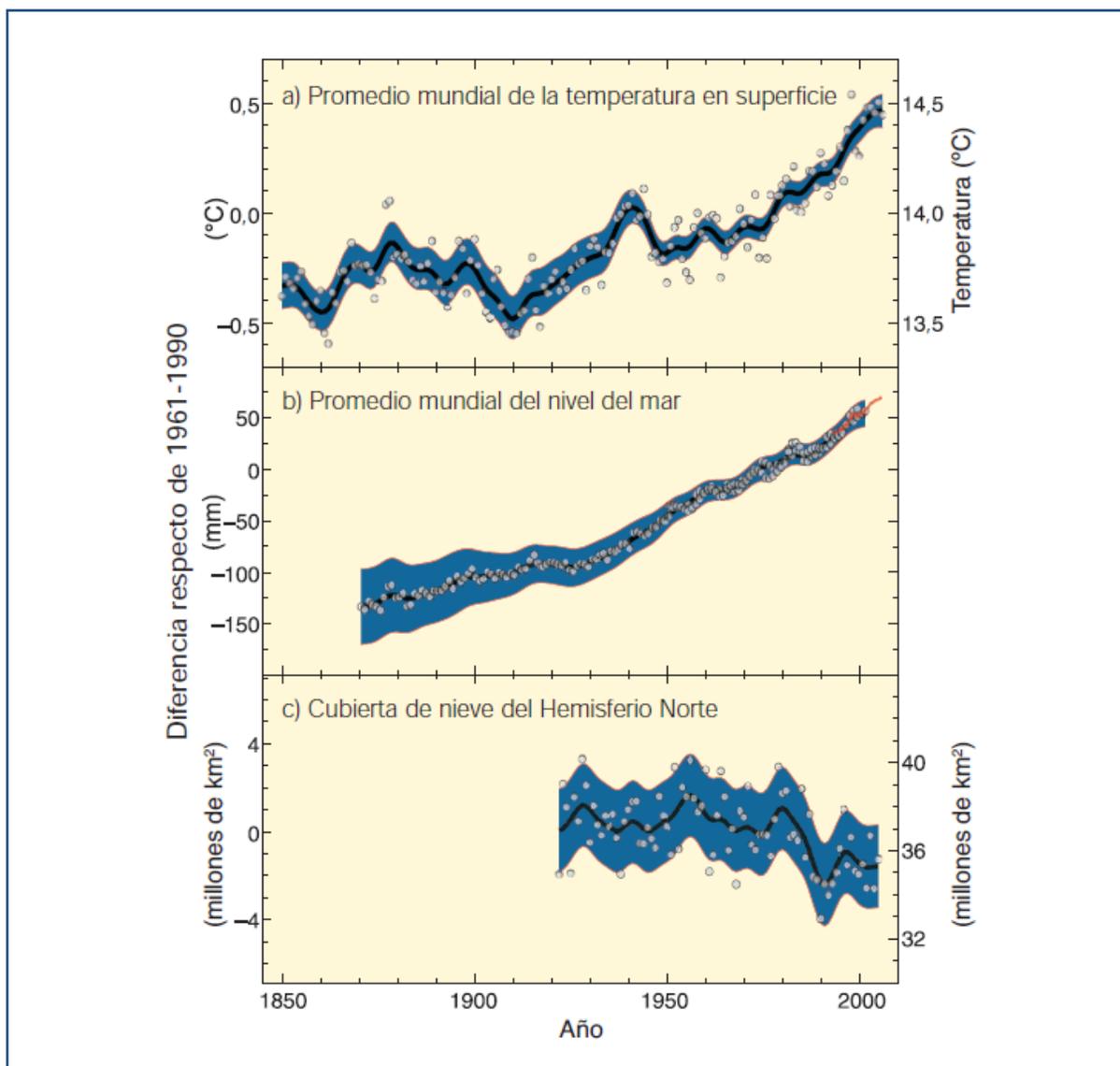
Fuente: Elaboración propia

El incremento en la concentración de gases naturales de efecto invernadero en la atmósfera, y la emisión de nuevos gases de efecto invernadero creados por el hombre, como los clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) aceleraron el proceso de efecto invernadero natural, y lo transformaron en un efecto invernadero acelerado. (NEUENSCHWANDER, 2010)

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992), atribuye la actividad humana como causa principal del cambio climático definiéndolo como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana”

Los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar, llevaron al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007) a expresar “El calentamiento del sistema climático es inequívoco”

Figura N° 2.2: Cambios en la temperatura, el nivel del mar y la cubierta de nieve del Hemisferio Norte



Fuente: GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, 2007

2.2. Huella de carbono y etiquetado de carbono

2.2.1. Huella de carbono

Huella de carbono es un término usado para describir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), medidos en CO₂e, que un producto, servicio, persona, empresa o país es responsable de generar y emitir al medio ambiente. (TESCO, 2010)

La huella de carbono, es una forma para organizaciones e individuos evalúen su contribución al cambio climático. (BSI, 2008)

PRO-CHILE (2007) destaca al protocolo “GHG Protocol” y a la guía “PAS 2050” como dos herramientas que permiten realizar el cálculo de la huella de carbono. Por un lado, la guía PAS 2050 utiliza un enfoque de ciclo de vida, para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las actividades asociadas a la producción tanto de bienes como de servicios. Y por otro lado, GHG Protocol, cuantifica las emisiones mediante un enfoque corporativo.

2.2.2. Etiquetado de carbono

El etiquetado de carbono, es una forma de publicar e informar a los consumidores el resultado de la huella de carbono de un producto. Las etiquetas de carbono, pueden ser utilizadas para comparar las huellas de carbono de dos productos, de forma similar, como las etiquetas nutricionales permiten la comparación del contenido de grasa o sal de los alimentos. La huella de carbono de un producto se publica en función de una unidad funcional, que refleja la forma en que el producto es efectivamente consumidos por el usuario final, por ejemplo: 250 ml de una bebida gaseosa o 1 kg de azúcar. (TESCO, 2010)

La información que entrega una etiqueta de carbono es de utilidad para aquellos consumidores que quieren reducir su contribución al calentamiento global, permitiéndoles conocer de forma inmediata el daño que sus compras hacen al medioambiente. (BRANIGAN, 2007)

Figura N° 2.3: Etiquetado de carbono

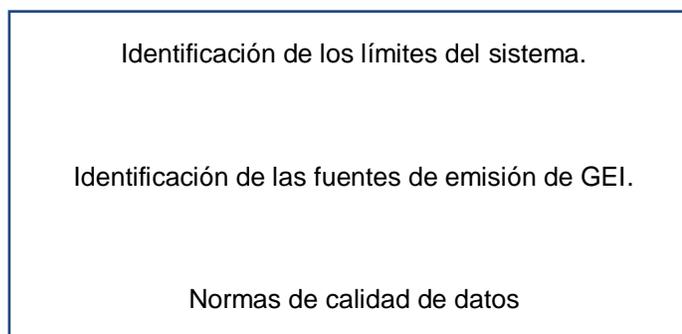


Fuente: TESCO

2.3. PAS 2050

PAS 2050 (*Publicly Available Specification*) especifica los requerimientos para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante una evaluación del ciclo de vida, procedentes de actividades productivas tanto de bienes como de servicios. Los requerimientos que PAS 2050 establece se presentan en la siguiente figura

Figura N° 2.4: Actividades para las que PAS 2050 establece requerimientos



Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Principios para la aplicación de PAS 2050

Según BSI (2008), para que la evaluación de las emisiones de GEI del ciclo de vida de un producto sea completa, se deben tener en cuenta los principios secuenciados a continuación:

- a) Relevancia: Seleccionar las fuentes de GEI, datos y métodos apropiados para la evaluación de las emisiones de GEI derivadas del producto.
- b) Integridad: Incluir todas las emisiones de GEI, que proporcionan una contribución importante a la evaluación de las emisiones de GEI derivadas del producto.
- c) Consistencia: Permitir comparaciones significativas en información relacionada a GEI.
- d) Precisión: Reducir el sesgo y la incertidumbre en la medida en que sea práctico.
- e) Transparencia: En caso de revelar los resultados de la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida del producto a terceros, la comunicación de los resultados debe ser en forma suficiente para que dichos terceros tomen decisiones con seguridad.

2.3.2. Límites del sistema

El límite del sistema define el alcance de la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida del producto, es decir, que etapas del ciclo de vida, procesos, entradas de insumos y salidas de productos deben ser incluidos en la evaluación.

A. Límites del sistema incluibles en una evaluación

Los límites del sistema que pueden ser incluidos en la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida del producto, pueden ser divididos en las siguientes categorías, aunque no todos los productos tienen procesos o emisiones derivadas de cada una de ellas. (BSI, 2008)

a) Materias primas: Corresponde a las emisiones de GEI resultantes de todos los procesos utilizados en la transformación de las materias primas, incluyendo fuentes de consumo energético y emisiones directas de GEI.

b) Energía: Corresponde a las emisiones de GEI asociadas con el suministro y el uso de la energía en el ciclo de vida del producto.

c) Manufacturación y prestación de servicios: Corresponde a las emisiones de GEI derivadas de la manufacturación y prestación de servicios que ocurren como parte del ciclo de vida del producto, incluyendo las emisiones asociadas al uso de consumibles.

d) Funcionamiento de las instalaciones: Corresponde a las emisiones de GEI del funcionamiento de las instalaciones, como fábricas, almacenes, centros de alimentación central, oficinas, tiendas, etc. El funcionamiento de las operaciones incluye la iluminación, calefacción, refrigeración, ventilación, control de humedad y otros controles ambientales en los locales.

e) Transporte: Corresponde a las emisiones de GEI derivadas del transporte por carretera, aire, métodos de transporte de agua, ferrocarril u otros que forman parte del ciclo de vida del producto.

f) Almacenamiento: Corresponde a las emisiones de GEI derivadas de la conservación del producto. Estas emisiones pueden provenir de actividades como; el almacenamiento de insumos; controles ambientales, como, refrigeración, calefacción, control de la humedad; o almacenamiento previo a las actividades de reutilización o reciclaje.

B. Límites del sistema excluidos de una evaluación

Para la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida del producto, son excluidas las siguientes etapas del ciclo de vida, procesos, entradas de insumos y salidas de productos. (BSI, 2008)

- a) Entradas de energía humana a los procesos y/o pre-procesamiento.
- b) El transporte de los consumidores hacia y desde el punto de venta al por menor.
- c) El transporte de los empleados hacia y desde su lugar habitual de trabajo.
- d) Animales proporcionando servicios de transporte.
- c) La producción de bienes de capital utilizados en el ciclo de vida del producto.

2.3.3. Fuentes de emisión de GEI

De acuerdo a BSI (2008), las siguientes son posibles fuentes de emisiones de GEI asociables a las etapas del ciclo de vida, procesos, entradas de insumos y salidas de productos que forman parte del límite del sistema.

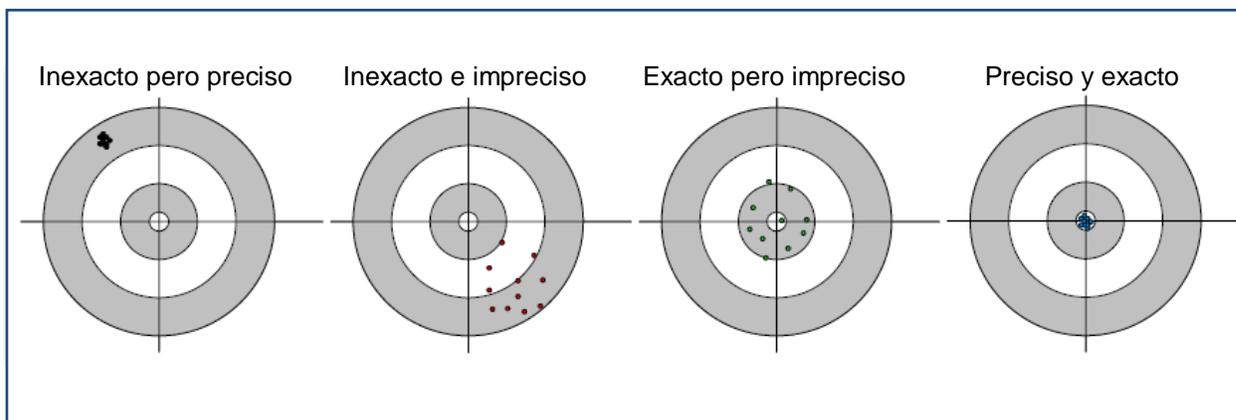
- a) El uso de energía;
- b) Los procesos de combustión;
- c) Las reacciones químicas;
- d) La pérdida de refrigerante y otros gases fugitivos;
- e) Operaciones;
- f) La prestación de servicios y la entrega;
- g) Los desperdicios.

2.3.4. Normas de calidad de datos

Con el objetivo de reducir los sesgos y la incertidumbre en la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida del producto, PAS 2050 establece las siguientes normas de calidad de datos. (BSI, 2008)

- a) Tiempo de cobertura: se prefirieron los datos que correspondientes al tiempo específico para el producto que se evaluado;
- b) Especificidad geográfica: se prefirieron los datos geográficamente específicos para el producto evaluado;
- c) Cobertura de la tecnología: se prefirieron los datos específicos de la tecnología del producto evaluado;
- d) Exactitud de la información: se prefirieron los datos más exactos;
- e) Precisión: se prefirieron aquellos datos que presentaron una menor variabilidad en el valor del dato, por ejemplo, se prefirieron los datos que presentaron una menor varianza estadística.

Figura N° 2.5: Ilustración de exactitud y precisión.

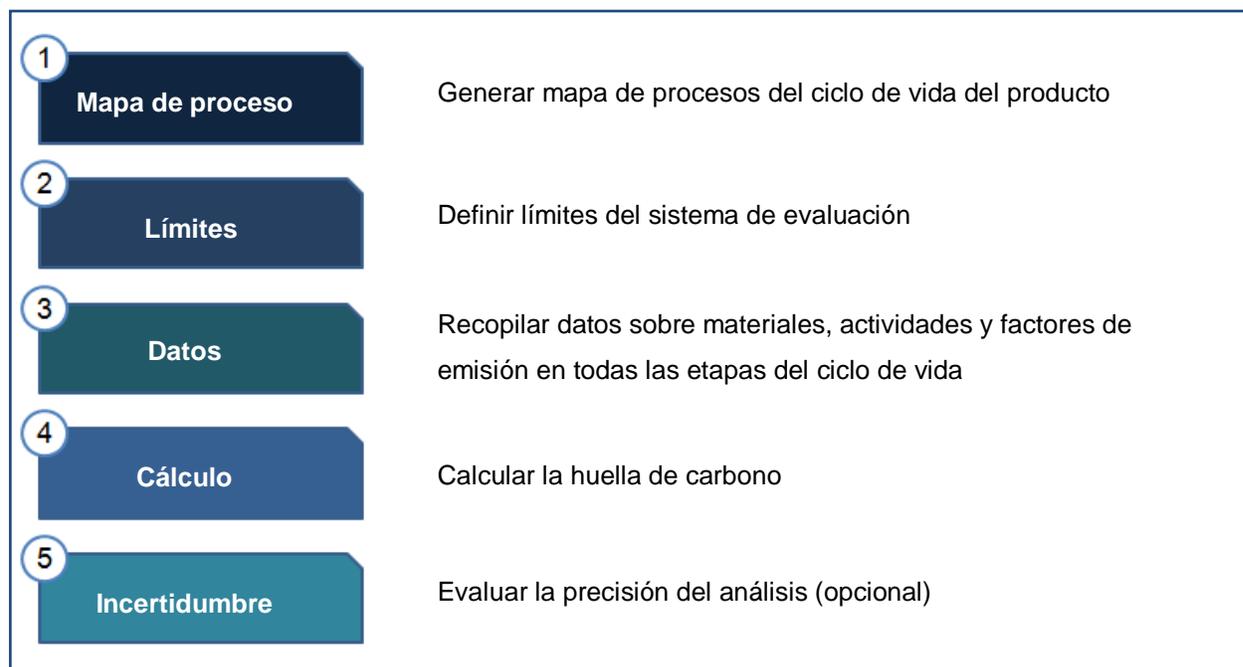


Fuente: FREY, 2006

2.4. Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero

La especificación, “Guía de PAS2050: Como evaluar la huella de carbono de bienes y servicios”, explica cómo calcular, en cinco pasos, la huella de carbono de un producto a través de su ciclo de vida, en conformidad con el método especificado en PAS 2050. (BSI, 2008)

Figura N° 2.6: Pasos para evaluar las emisiones de GEI de bienes y servicios



Fuente: BSI, 2008

2.4.1. Paso 1: Construcción de un mapa de procesos.

El objetivo del mapa del proceso es entregar una referencia gráfica que guíe la recolección de datos y el cálculo de las emisiones de GEI. Para construir el mapa de proceso, la unidad funcional del producto se divide en sus partes constituyentes para identificar todos los insumos, procesos de fabricación, condiciones de almacenamiento y transporte que contribuyeron al ciclo de vida del producto. (BSI, 2008)

2.4.2. Paso 2: Definición de los límites del sistema.

El objetivo de este paso es definir los límites del sistema, identificando las etapas del ciclo de vida del producto, procesos, entradas de insumos y salidas de productos incluidos en la evaluación.

2.4.3. Paso 3: Recopilación de datos.

El objetivo de este paso es recolectar datos de actividad y factores de emisión. Los datos de actividad se refieren a todos los materiales y cantidades de energía que participan en el ciclo de vida del producto. Mientras que, los factores de emisión proporcionar el vínculo que convierte estas cantidades en emisiones de gases de efecto invernadero, indicando la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por unidad de datos de actividad, por ejemplo, kilogramos de gases de efecto invernadero por kWh de energía utilizada. (BSI, 2008)

2.4.4. Paso 4: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo de este paso es cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en relación a una unidad funcional siguiendo la siguiente secuencia de actividades. (BSI, 2008)

1. Convertir los datos de las fuentes de emisiones de GEI a emisiones de GEI, multiplicando los datos recolectados por el factor de emisión correspondiente para la actividad. Los resultados se registran como emisiones de GEI por unidad funcional del producto.
2. Convertir las emisiones de GEI a emisiones de CO₂e, multiplicando las cifras individuales de las emisiones de GEI por el poder de calentamiento global pertinente.
3. Sumar los resultados para obtener las emisiones de GEI en términos de emisiones de CO₂e por unidad funcional.

2.4.5. Paso 5: Comprobación de la incertidumbre

La comprobación de la incertidumbre es un proceso opcional, que es informado pero no exigido explícitamente por PAS 2050. Su objetivo es determinar una medida de precisión para el cálculo realizado. Algunas ventajas derivadas del análisis de la incertidumbre son, primero, identificar los puntos donde se requiere, y donde no se requiere, focalizar esfuerzos para recopilar datos, y segundo, si el valor de la incertidumbre es comunicado, se entrega una mayor solidez al cálculo frente a interesados internos y externos. (BSI, 2008)

2.5. Emisiones de GEI asociadas a la utilización de energía eléctrica

2.5.1. Sistemas Interconectado Central

En Chile existen cuatro sistemas eléctricos, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), el Sistema Interconectado Central (SIC), el Sistema de Aysén y el Sistema de Magallanes. (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2011). Siendo el SIC el sistema eléctrico de servicio público más importante del país”. (MINDER, 1997)

El SIC comprende el área ubicada desde la rada de Paposo, en la Región de Antofagasta, hasta la ciudad de Quellón, en la Región de Los Lagos. El Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC) es el organismo encargado de coordinar la operación de las instalaciones eléctricas ubicadas en el área de cobertura del SIC. (CDEC-SIC, 2011)

Las instalaciones de generación eléctrica pertenecientes al SIC se clasifican por tipo de central, en termoeléctricas, hidroeléctricas y eólicas. La potencia bruta instalada de estas centrales se resume en la siguiente tabla. (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2011).

Tabla N° 2.3: Potencia bruta instalada por tipo de central en el SIC

Tipo de central	Potencia bruta instalada	Potencia bruta instalada
Termoeléctrica	6.510,5 [MW]	52,13 [%]
Hidroeléctrica	5.801,6 [MW]	46,46 [%]
Eólica	175,8 [MW]	1,41 [%]
Total potencia Instalada	12.487,9 [MW]	100 [%]

Fuente: COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2011

2.5.2. Factor de emisión del SIC

Los Factores de Emisión (FE) son indicadores, que reflejan la tasa entre las toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂e) emitidas a la atmósfera, y el uso de diversos tipos de energéticos. En el caso de los sistemas eléctricos, los FE permiten relacionar las tCO₂e emitidas a la atmósfera, por todas las centrales generadoras asociadas al sistema interconectado, con los Mega Watt hora (MWh) generados, por todas

las centrales generadoras conectadas al sistema interconectado. (AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, 2009)

Debido a la naturaleza de sus operaciones, las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas y eólicas aportan en distinta proporción al factor de emisión del SIC. (INCOTEC, 2010).

Dependiendo de la participación de cada tipo de central durante la generación de energía eléctrica, el factor de emisión del SIC varía mensualmente tal como se presenta en la siguiente tabla. (MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE, 2011)

Tabla N° 2.4: Factores de emisión mensuales del SIC

Periodo de evaluación	Factor de emisión del SIC
Marzo de 2010	0,364 [tCO ₂ e/MWh]
Abril de 2010	0,317 [tCO ₂ e/MWh]
Mayo de 2010	0,357 [tCO ₂ e/MWh]
Junio de 2010	0,385 [tCO ₂ e/MWh]
Julio de 2010	0,375 [tCO ₂ e/MWh]
Agosto de 2010	0,431 [tCO ₂ e/MWh]
Septiembre de 2010	0,379 [tCO ₂ e/MWh]
Octubre de 2010	0,339 [tCO ₂ e/MWh]
Noviembre de 2010	0,330 [tCO ₂ e/MWh]
Diciembre de 2010	0,368 [tCO ₂ e/MWh]
Enero de 2011	0,362 [tCO ₂ e/MWh]
Febrero de 2011	0,409 [tCO ₂ e/MWh]

Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE, 2011

2.6. Emisiones de GEI asociadas a la combustión de gas licuado de petróleo

2.6.1. Factores de emisión de combustión estacionaria

Los factores de emisión de combustión estacionaria, representan la tasa entre la masa de gases de efecto invernadero emitidas, medida en kilogramos, por la base calórica neta de un combustible consumido en una fuente de combustión estacionaria, medido en Tera Joule. Los factores de emisión de combustión estacionaria están definidos para los gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). (GÓMEZ, 2006)

La siguiente tabla presenta los factores de emisión de combustión estacionaria para CO₂, CH₄ y N₂O, para los combustibles: gasolina, petróleo diesel, petróleo combustible N°6 y gas licuado de petróleo.

Tabla N° 2.5: Factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O para combustión estacionaria.

Combustible	Factor de emisión CO ₂	Factor de emisión CH ₄	Factor de emisión N ₂ O
Gasolina	67.500 [Kg CO ₂ /TJ]	3 [Kg CH ₄ /TJ]	0,6 [Kg N ₂ O/TJ]
Petróleo diesel	74.100 [Kg CO ₂ /TJ]	3 [Kg CH ₄ /TJ]	0,6 [Kg N ₂ O/TJ]
Petróleo combustible N°6	77.400 [Kg CO ₂ /TJ]	3 [Kg CH ₄ /TJ]	0,6 [Kg N ₂ O/TJ]
Gas licuado de petróleo	73.100 [Kg CO ₂ /TJ]	1 [Kg CH ₄ /TJ]	0,1 [Kg N ₂ O/TJ]

Fuente: GÓMEZ, 2006

2.4.3. Poder calorífico y densidad de combustibles

El poder calorífico de un combustible indica la tasa entre la base calórica neta de un combustible, medida en kilocalorías, y la masa del combustible, medida en kilogramos. La densidad de un combustible indica la tasa entre la masa y el volumen de un combustible. La siguiente tabla presenta el poder calorífico y la densidad de los combustibles: gasolina, petróleo diesel, petróleo combustible N°6 y gas licuado de petróleo. (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2011)

Tabla N° 2.6: Poder calorífico y densidad de combustibles

Combustible	Poder calorífico	Densidad
Gasolina	11.200 [kcal/kg]	0,730 [t/m ³]
Petróleo diesel	10.900 [kcal/kg]	0,840 [t/m ³]
Petróleo combustible N°6	10.500 [kcal/kg]	0,945 [t/m ³]
Gas licuado de petróleo	12.100 [kcal/kg]	0,550 [t/m ³]

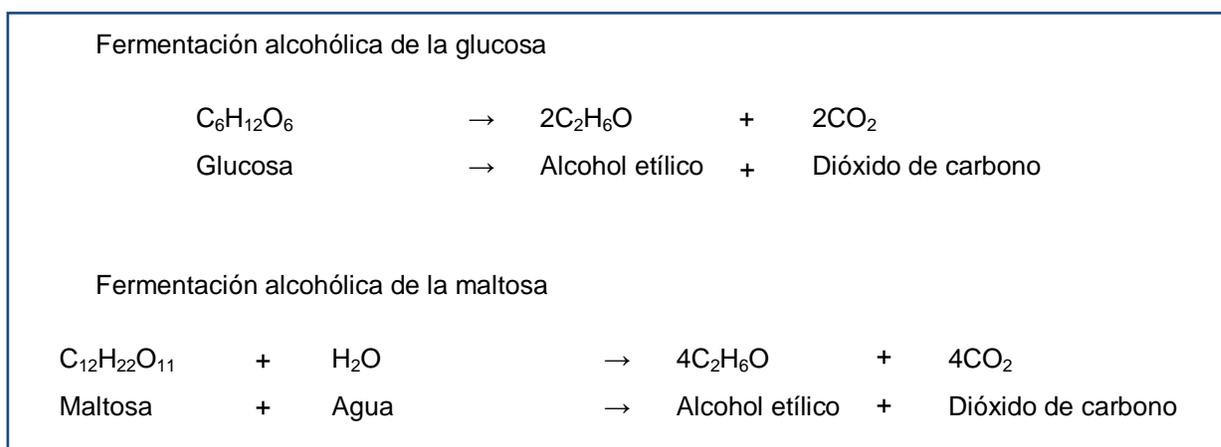
Fuente: COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2011

2.7. Emisiones de GEI asociadas al proceso de fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico que tiene como finalidad proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares en ausencia de oxígeno. Durante la fermentación alcohólica de la cerveza, las levaduras de cerveza procesan los azúcares fermentables disueltos en el mosto, obteniendo la energía necesaria para su metabolismo y generando como desechos, alcohol etílico (C_2H_6O) y dióxido de carbono (CO_2), siendo este último el único gas de efecto invernadero producido durante la fermentación alcohólica de la cerveza. (VÁZQUEZ, 2007)

Los azúcares procesados por las levaduras de cerveza, durante la fermentación alcohólica son glucosa ($C_6H_{12}O_6$) y maltosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Por cada mol de glucosa se producen dos moles de alcohol etílico y dos moles de dióxido de carbono, a su vez, cada mol de maltosa reacciona con un mol agua, produciendo cuatro moles de alcohol etílico y cuatro moles de dióxido de carbono. Las reacciones químicas que gobiernan los procesos de fermentación alcohólica de la glucosa y la maltosa se describen en la siguiente figura. (VÁZQUEZ, 2007)

Figura N°2.7: Reacciones químicas de la fermentación alcohólica

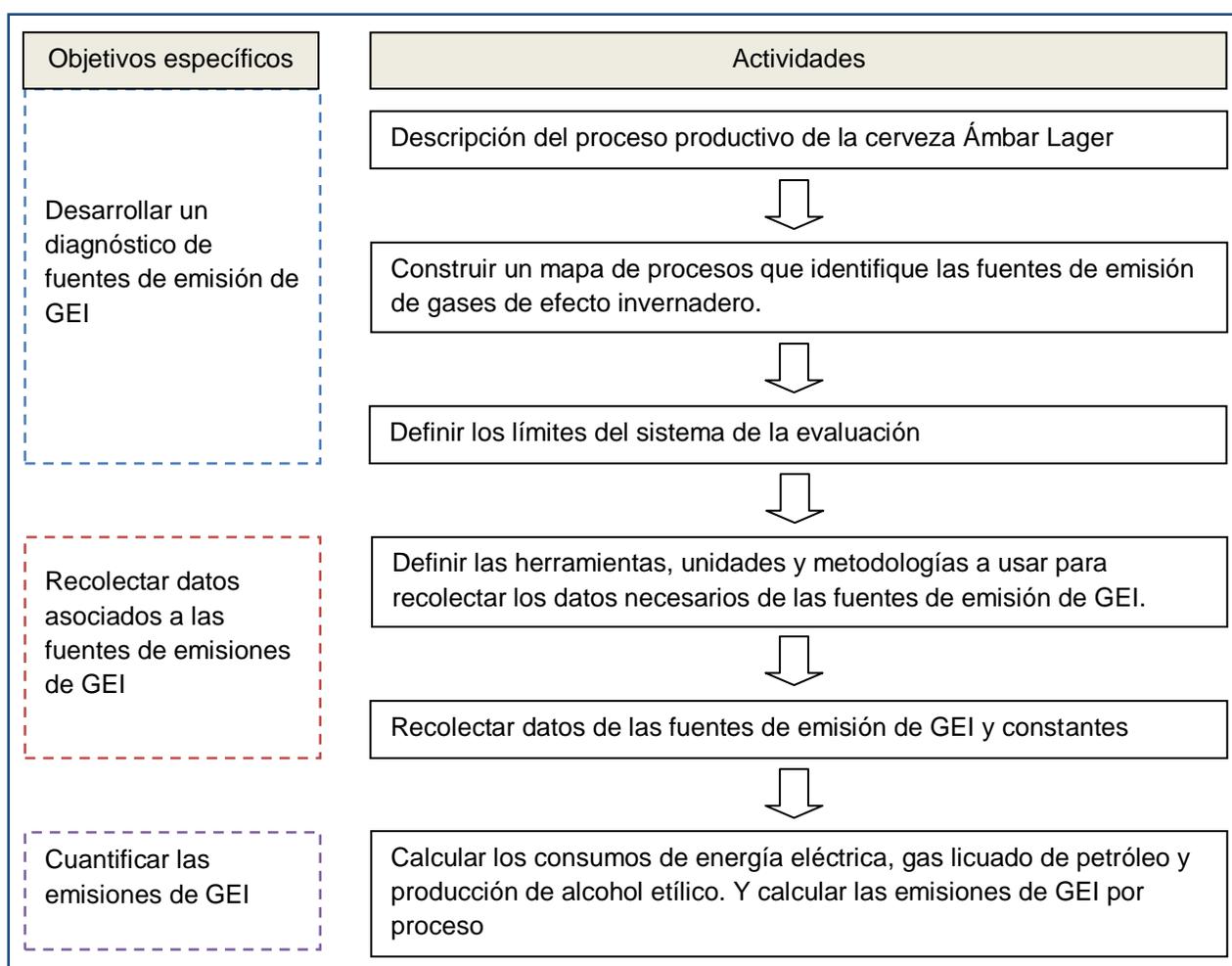


Fuente: Elaboración propia

3. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico de la investigación se dividió en tres grupos de actividades, cada grupo asociado directamente a uno de los objetivos específicos propuestos: Desarrollar un diagnóstico de las fuentes de emisión de GEI en el proceso de producción de la cerveza, Recolectar datos asociados a las fuentes de emisiones de GEI y Cuantificar las emisiones de GEI de la cerveza Ámbar Lager. La siguiente figura tiene como objetivo, esquematizar de forma clara las secuencias y relaciones entre cada una de las actividades desarrolladas durante la investigación.

Figura N° 3.1: Diseño metodológico.



Fuente: Elaboración propia

3.1. Descripción del proceso productivo de la cerveza Ámbar Lager

La elaboración de cerveza Ámbar Lager en la cervecería Bespoke considera los procesos productivos de lavado, sanitizado y esterilización; molienda; macerado; lavado de granos; cocción; enfriado; fermentación; embotellado; carbonatación y control de calidad.

3.1.1. Lavado, sanitizado y esterilización

El objetivo del proceso de lavado es eliminar partículas de polvo y manchas de equipos, utensilios y áreas de trabajo. Durante el lavado se utilizaron agua y detergentes.

El sanitizado buscó eliminar microorganismos de las áreas de trabajo y utensilios. Durante este proceso se utilizaron agua, alcohol y cloro.

El objetivo del proceso de esterilización es eliminar de los equipos cualquier forma de vida. Para efectuar la esterilización se utilizó exposición a altas temperaturas.

3.1.2. Molienda

El objetivo de la molienda es aumentar la superficie de contacto entre los granos de malta y el agua en el proceso de macerado.

Para la producción de un lote de 120 botellas de cerveza de 330 [cm³] se molieron 7,5 [kg] de Malta Pilsen y 1,2 [kg] de Malta Caramelo 120 usando un molino de granos manual.

Al finalizar este proceso se obtuvieron por una parte fragmentos de granos que contenían almidón y amilasa y por otra parte la cascarilla de los granos.

3.1.3. Macerado

El objetivo del macerado es generar las condiciones adecuadas de temperatura, para que las enzimas amilasas conviertan las moléculas de almidón presentes en los granos de malta en maltosa, un azúcar fermentable, mediante procesos de hidrólisis.

El macerado se realizó mezclando 8,7 [kg] de malta molida, provenientes del proceso anterior, y 40 [l] de agua a 71 [°C] en un macerador de 50 [l]. Luego se mantuvo la temperatura de la mezcla en 67 [°C] por 50 minutos.

Al finalizar este proceso se separó la parte líquida de la sólida. La parte líquida obtenida fue una solución de sabor dulce, rica en azúcares fermentables llamada mosto. Por otro lado, la parte sólida compuesta por fragmentos y cascarillas de granos húmedos, llamada bagazo.

El mosto fue enviado al proceso de cocción y el bagazo fue enviado al proceso de lavado de granos.

3.1.4. Lavado de granos

El objetivo del lavado es rescatar los azúcares remanentes que quedaron atrapados en los fragmentos y cascarillas de granos.

El lavado se realizó sumergiendo el bagazo en agua a 70 [°C] por 20 [minutos].

Al finalizar el proceso, la parte líquida se separó de la sólida. La parte sólida fue desechada y la parte líquida enviada al proceso de cocción.

3.1.5. Cocción

El objetivo de la cocción es esterilizar el mosto, disolver azúcares adicionadas durante el proceso y solubilizar las resinas del lúpulo que dan amargor y aroma a la cerveza.

Durante este proceso el mosto se hirvió en un olla de cocción de 50 [l] durante 1 [hora]. Además, durante este proceso floccularon proteínas causantes de la turbidez de la cerveza.

Al finalizar el proceso, el líquido se filtró para separar la parte líquida, llamada mosto cocido, de la parte sólida llamada turbio caliente, formada por proteínas y lúpulos agotados.

3.1.6. Enfriado

El objetivo del enfriado es lograr las condiciones adecuadas de temperatura para el desarrollo de la levadura de cerveza.

El enfriado se realizó usando un intercambiador de calor de contracorriente.

Al finalizar el proceso, el producto resultante, llamado mosto enfriado, alcanzó una temperatura de 18 [°C] y fue enviado al fermentador.

3.1.7. Fermentación

El objetivo de la fermentación es mantener las condiciones adecuadas de temperatura, concentración de gases y luz para que las levaduras de cerveza transformen la maltosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) presente en el mosto enfriado, en alcohol etílico (C_2H_6O) y dióxido de carbono (CO_2).

Al iniciar este proceso, el mosto enfriado se aireó por agitación y se vació en tres fermentadores de 20 [l] cada uno, posteriormente a cada fermentador se le agregaron 400 [cm³] de levadura, se envolvieron con papel y se taparon usando un Airlock.

La fermentación se extendió por 28 [días], durante el proceso la temperatura varió entre 8 y 18 [°C], el contenido del fermentador no fue expuesto a la luz natural y no ingresó aire al fermentador.

Al finalizar el proceso, el líquido contenido en el fermentador se dividió en una parte clarificada, llamada cerveza joven, y en otra parte precipitada, formada por levaduras, proteínas y restos de lúpulo, llamada turbio frío. La cerveza joven se envió al proceso de embotellado, una fracción de la parte precipitada se destinó para reutilizar las levaduras presentes en ella en otro lote de cerveza, mientras que el resto del precipitado se desechó.

3.1.8. Embotellado

Los objetivos del embotellado son, primero, generar las condiciones necesarias para que el dióxido de carbono generado en el proceso de carbonatación se solubilice, y segundo, dosificar el producto en una unidad de venta, botella de 330 [cm³].

Durante este proceso 120 botellas de vidrio fueron llenadas con 330 [cm³] de cerveza joven, luego a cada botella se le añadió 1 [g] de glucosa, a continuación la botella de vidrio fue sellada con una tapa corona usando una tapadora de tijeras.

3.1.9. Carbonatación

El objetivo del proceso de carbonatación es incorporar dióxido de carbono solubilizado en la cerveza.

Durante el proceso las levaduras presentes en la cerveza joven que no precipitaron en procesos anteriores se encargaron de fermentar la glucosa añadida en el embotellado, el dióxido de carbono generado por esta fermentación se solubilizó en el fluido resultando en la carbonatación de la cerveza.

Una vez terminado el proceso de carbonatación, extendido por 14 [días], el producto obtenido es llamado cerveza.

3.1.10. Control de calidad

El objetivo del proceso de control de calidad es verificar que el producto obtenido cumple con los estándares establecidos para él.

Mediante ensayos destructivos de seis botellas de cerveza, dos botellas por cada uno de los tres fermentadores, se verificó que el producto cumpliera con estándares de color, aroma, sabor, gasificación y retención de espuma.

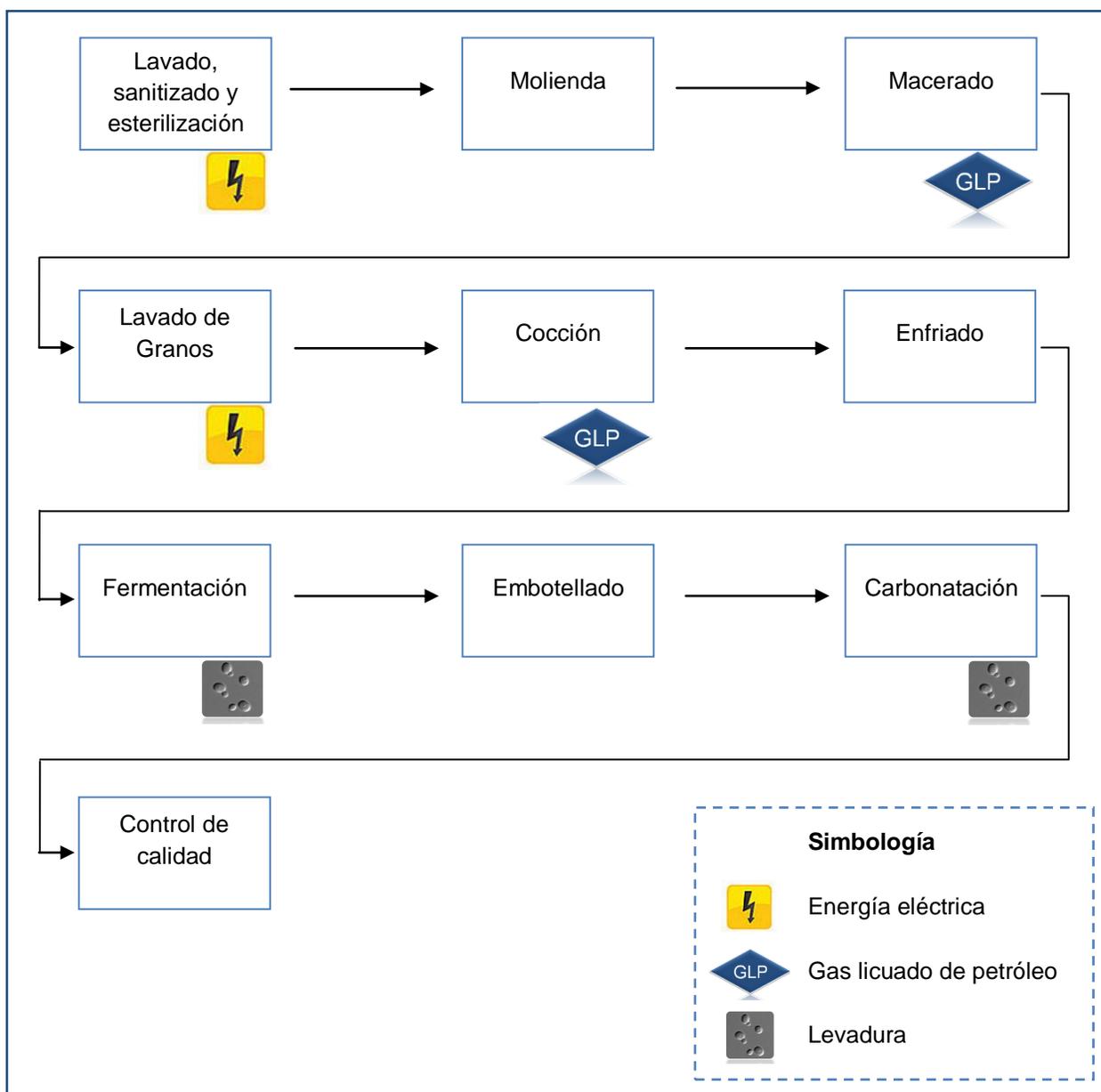
La cerveza que cumplió con todos los estándares de calidad es puesta a la venta y la cerveza que no cumplió los estándares es desechada.

3.2. Paso 1: Mapa de procesos

El objetivo del mapa de procesos es graficar la secuencia de procesos presentados en el subcapítulo 3.1.

Los iconos de energía eléctrica, gas licuado de petróleo y levadura, indican el origen de las emisiones de GEI en los procesos productivos que los tienen.

Figura N° 3.2: Mapa de procesos



Fuente: Elaboración propia

3.3. Paso 2: Límites del sistema

El objetivo de definir el límite del sistema para la evaluación de las emisiones de GEI del ciclo de vida de la cerveza, es definir la etapa del ciclo de vida del producto en la cual se realiza el estudio, definir los procesos productivos que se estudian dentro de esta etapa, e identificar el origen de las emisiones de GEI en cada uno de estos procesos.

La etapa del ciclo de vida de la cerveza, considerada para la evaluación de las emisiones de GEI, fue la etapa de producción. Los procesos productivos considerados durante la etapa de producción fueron: esterilización, macerado, lavado de granos, cocción, fermentación y carbonatación. El origen de las emisiones de GEI asociadas a los procesos productivos fueron: utilización de energía eléctrica, combustión de gas licuado de petróleo y fermentación alcohólica de azúcares.

La siguiente tabla detalla el origen de las emisiones por cada proceso. Además, con el desarrollo de esta tabla se completa el primer objetivo específico de la investigación, “desarrollar un diagnóstico de las fuentes de emisión de GEI”.

Tabla N° 3.1: Origen de las emisiones de GEI por proceso productivo

Proceso productivo	Origen de las emisiones de GEI en el proceso productivo	
Esterilización		Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua, utilizada para esterilizar equipos por exposición a altas temperaturas.
Macerado		Gas licuado de petróleo (GLP) consumido para elevar la temperatura del agua de macerado y mantener la temperatura de mezcla durante el proceso.
Lavado de granos		Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua, utilizada para lavar el bagazo.
Cocción		Gas licuado de petróleo (GLP) consumido para lograr un hervor vigoroso del mosto y mantenerlo durante el proceso.
Fermentación		Masa de maltosa fermentada por las levaduras durante el proceso.
Carbonatación		Masa de glucosa fermentada por las levaduras durante el proceso.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Paso 3: Recolección de datos

En el subcapítulo 3.4 se definieron las herramientas, unidades de medida y metodologías para recolectar los datos necesarios para la evaluación de las emisiones de GEI del ciclo de vida de la cerveza. Durante este subcapítulo también se recolectaron los datos relacionados a las fuentes de emisiones de GEI en cada uno de los procesos productivos evaluados y por último se recolectaron las constantes necesarias para los cálculos.

3.4.1. Herramientas, unidades de medida y metodología de recolección de datos

A continuación se definen las herramientas, las unidades y las metodologías utilizadas para recolectar los datos necesarios en los procesos productivos, correspondientes a temperaturas, dimensiones, masas y grados alcohólicos.

A. Temperatura

Herramienta: Termómetro de vidrio; rango -10 a 110 [°C]; subdivisión de un grado Celsius [°C]. Este termómetro se seleccionó ya que las temperaturas medidas durante los procesos productivos de esterilización, macerado, lavado de granos y cocción, se encuentran dentro del rango de graduación del termómetro.

Unidad de medida: Grados Kelvin [K]. Las mediciones obtenidas por el termómetro, graduado en grados Celsius [°C], se transformaron a grados Kelvin [K] con el objetivo de utilizar preferentemente unidades de medidas que correspondan al Sistema Internacional de Unidades (SI). El cambio de unidades de grados Celsius a grados Kelvin utilizo la siguiente fórmula.

Fórmula N° 3.1: Cambio de unidades de grados Celsius a grados Kelvin

$$K = °C + 273,15$$

Dónde:

K = Grados Kelvin

°C = Grados Celsius

Nota: La temperatura máxima que puede alcanzar el agua a nivel del mar y a una atmósfera de presión, sin cambiar de fase, es 100 [°C]. A medida que la altura aumenta, la temperatura de ebullición del agua disminuye y en consecuencia la temperatura máxima que puede alcanzar el agua disminuye también. Como el proceso térmico se realiza a una altura mayor a la del nivel del mar, la temperatura máxima que puede alcanzar el agua es 99 [°C] y no 100 [°C]. (UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2007)

Metodología: Primero, el termómetro se sanitizó con alcohol, lavó con agua y secó con papel absorbente;

Segundo, se sostuvo el termómetro por el extremo del tallo, colocando en contacto por 30 [segundos] al bulbo del termómetro con la sustancia a la cual se le midió la temperatura hasta que la lectura se estabilizó;

Tercero, el termómetro se llevó a la altura de los ojos y se registró la lectura indicada por la barra roja que sale desde el bulbo;

Cuarto, el termómetro se lavó con agua, secó con papel secante y guardó en su estuche.

B. Dimensión

Herramienta: Regla; rango 60 centímetros [cm]; subdivisión un milímetro [mm].

Unidad de medida: Metro [m]. Se utilizó esta unidad con el objetivo de utilizar preferentemente unidades de medidas que correspondan al Sistema Internacional de Unidades (SI)

Metodología: Primero, se identificaron los puntos máximos y mínimos que indican la distancia sobre la superficie a medir;

Segundo, se superpuso la regla en la superficie a medir asegurándose que el borde graduado intersectará los puntos máximo y mínimo de la distancia a medir;

Tercero, se registró la medición indicada por la diferencia entre las marcas del borde graduado que se superponen a los puntos máximo y mínimo de la distancia a medir;

C. Masa

Herramienta: Balanza digital de sobremesa; rango 1.200 gramos [g]; subdivisión 0,1 gramo [g].

Unidad de medida: kilogramo [kg]. Se utilizó esta unidad con el objetivo de utilizar preferentemente unidades de medidas que correspondan al Sistema Internacional de Unidades (SI)

Metodología: Primero, se dispuso la balanza sobre una superficie firme, para evitar desviaciones en la medición, provocadas por el movimiento del objeto sobre la balanza;

Segundo, el objeto a medir se dispuso sobre la balanza, luego se registró la masa indicada por el visor de la balanza.

D. Grado alcohólico

Herramienta: Alcoholímetro; rango 21 grados Gay Lussac [por ciento]; subdivisión 0,1 grado Gay Lussac [por ciento]

Unidad de medida: Grado Gay Lussac [por ciento]. Se utilizó esta unidad ya que la Ley 18.455 (2009) dispone al grado Gay Lussac como unidad para medir el contenido de alcohol en bebidas alcohólicas fermentadas.

Metodología: Primero, el alcoholímetro fue sanitizado con alcohol, lavarlo con agua y secarlo con papel absorbente;

Segundo, las muestras de cerveza joven y de cerveza a las que se les midió el grado alcohólico se colocaron en una probeta.

Tercero, el alcoholímetro se sumergió en la probeta y luego que el instrumento se estabilizo, se registró la lectura indicada por el nivel de flotación del alcoholímetro.

Cuarto, el alcoholímetro se lavó con agua, secó con papel secante y guardó en su estuche.

3.4.2. Datos asociados a los procesos productivos

A. Procesos de esterilización y lavado de granos

Los datos identificados en el proceso de esterilización, se relacionan con la energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua utilizada para esterilizar equipos por exposición a altas temperaturas. Por su parte, los datos identificados en el proceso lavado de granos, se relacionan con la energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua utilizada para lavar el bagazo.

Con el objetivo de disminuir la incertidumbre del estudio, se consideró la energía consumida, tanto para elevar la temperatura del agua dispuesta en el calentador de agua, como también para elevar la temperatura del aire atrapado dentro del equipo y su estructura compuesta por acero inoxidable AISI 316.

Para cada uno de estos procesos, se recolectaron los datos presentados en las siguientes tablas.

Tabla N° 3.2: Datos asociados al proceso de esterilización.

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura inicial del agua	T_{H_2O}	10	[°C]
Temperatura final del agua	T_{fH_2O}	99	[°C]
Temperatura inicial del aire	T_{AIRE}	20	[°C]
Temperatura final del aire	T_{fAIRE}	99	[°C]
Temperatura inicial del calentador	T_C	20	[°C]
Temperatura final del calentador	T_{fC}	99	[°C]
Masa del agua	m_{H_2O}	15	[kg]
Diámetro del calentador	D_C	0,338	[m]
Alto del calentador	h_C	0,347	[m]
Espesor del calentador	E_C	0,001	[m]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.3: Datos asociados al proceso de lavado de granos.

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura inicial del agua	$T_{i_{H_2O}}$	10	[°C]
Temperatura final del agua	$T_{f_{H_2O}}$	70	[°C]
Temperatura inicial del aire	$T_{i_{AIRE}}$	20	[°C]
Temperatura final del aire	$T_{f_{AIRE}}$	70	[°C]
Temperatura inicial del calentador	T_{i_C}	20	[°C]
Temperatura final del calentador	T_{f_C}	70	[°C]
Masa del agua	m_{H_2O}	15	[kg]
Diámetro del calentador	D_C	0,338	[m]
Alto del calentador	h_C	0,347	[m]
Espesor del calentador	E_C	0,001	[m]

Fuente: Elaboración propia

Se considera como temperatura inicial, la temperatura medida en grados Celsius [°C], que el agua, aire y acero inoxidable AISI 316, tenían antes de que el calentador de agua fuera encendido. De modo análogo, se considera como temperatura final, la temperatura medida en grados Celsius [°C], que estas sustancias alcanzaron una vez que el agua alcanzó la temperatura deseada.

Se define como masa de agua, a la masa de este líquido medida en kilogramos [kg] dispuesta al interior del calentador de agua.

El diámetro del calentador de agua, corresponde la distancia recorrida por una recta imaginaria que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de la circunferencia del equipo, el alto corresponde a la distancia entre el punto más alto y el punto más bajo del interior del calentador de agua, y el espesor corresponde a la distancia entre las caras internas y externas de las paredes del calentador de agua. Todas estas dimensiones son medidas en metros [m].

B. Proceso de macerado y cocción

Los datos identificados en el proceso macerado, se relacionan con el gas licuado de petróleo consumido para elevar la temperatura del agua de macerado y mantener la temperatura de la mezcla durante el proceso. Por su parte, los datos identificados en el proceso cocción, se relacionan con el gas licuado de petróleo consumido para lograr un hervor vigoroso del mosto y mantenerlo durante el proceso.

Para cada uno de estos procesos, se recolectaron los datos presentados en las siguientes tablas.

Tabla N° 3.4: Datos asociados al proceso de macerado

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Masa inicial del balón de gas	m_i	3,634	[Kg]
Masa final del balón de gas	m_f	3,404	[kg]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.5: Datos asociados al proceso de cocción

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Masa inicial del balón de gas	m_i	3,404	[Kg]
Masa final del balón de gas	m_f	2,800	[kg]

Fuente: Elaboración propia

La masa inicial, corresponde a la masa que el balón de gas licuado de petróleo tenía antes de la utilización de combustible en cualquiera de los dos procesos productivos. De modo análogo, como masa final, se entiende a la masa del balón de gas licuado de petróleo, una vez que los procesos productivos terminaron de extraerle combustible.

C. Datos asociados al proceso de fermentación y carbonatación

Los datos identificados en el proceso fermentación, se relacionan con la masa de maltosa fermentada por las levaduras. Por su parte, los datos identificados en el proceso de carbonatación, se relacionan con la masa de glucosa fermentada por las levaduras.

Para cada uno de estos procesos, se recolectaron los datos presentados en las siguientes tablas.

Tabla N° 3.6: Datos asociados al proceso de fermentación

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Grado alcohólico inicial	$^{\circ}\text{GL}_i$	0,0	[por ciento]
Grado alcohólico final	$^{\circ}\text{GL}_f$	7,1	[por ciento]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.7: Datos asociados al proceso de carbonatación

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Grado alcohólico inicial	$^{\circ}\text{GL}_i$	7,1	[por ciento]
Grado alcohólico final	$^{\circ}\text{GL}_f$	7,3	[por ciento]

Fuente: Elaboración propia

El grado alcohólico corresponde a la proporción de alcohol que tienen la cerveza joven y la cerveza al finalizar los procesos de fermentación y carbonatación respectivamente. (CHILE, 2011)

3.4.3. Datos asociados a constantes

Las constantes necesarias para la evaluación de las emisiones de GEI del ciclo de vida de la cerveza se presentan en las siguientes tablas.

Tabla N° 3.8: Propiedades físicas y atómicas

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Densidad del agua	ρ_{H_2O}	1.000,0	[kg/m ³]
Densidad del aire	ρ_{AIRE}	1,2	[kg/m ³]
Densidad del acero inoxidable 316	ρ_{A316}	8.000,0	[kg/m ³]
Densidad del gas licuado de petróleo	ρ_{GLP}	550,0	[kg/m ³]
Densidad del alcohol etílico	$\rho_{ALCOHOL}$	0,789	[g/cm ³]
Calor específico del agua	C_{H_2O}	4,201	[kJ/K*kg]
Calor específico del aire	C_{AIRE}	1,012	[kJ/K*kg]
Calor específico acero inoxidable 316	C_{A316}	0,5	[kJ/K*kg]
Poder calorífico gas licuado de petróleo	PC_{GLP}	0,00002786	TJ/l
Masa atómica del carbono	U_C	12,01115	[g/mol]
Masa atómica del hidrógeno	U_H	1,00797	[g/mol]
Masa atómica del oxígeno	U_O	15,99940	[g/mol]

Fuente: Elaboración propia

La densidad es una constante que corresponde a la cantidad de masa contenida en un volumen de estas sustancias. Expresado en kilogramo [kg] sobre metro cúbico [m³]. (PERRY,2001)

El calor específico es una constante que corresponde a la cantidad de energía calórica que debe ser suministrada a una unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad. La unidad de medida del calor específico es kilo Joule [kJ] sobre grados Kelvin [K] por kilogramo [kg]. (PERRY,2001)

El poder calorífico de una sustancia corresponde a la cantidad de energía que la sustancia puede liberar al producirse una reacción química de oxidación. El poder calorífico se expresa en Tera Joule [TJ] sobre litro [l]. (PERRY, 2001)

La masa atómica es una constante que corresponde a la masa de un mol de un determinado elemento químico. La masa atómica se expresa en gramo [g] sobre mol [mol]. (PERRY, 2001)

Tabla N° 3.9: Factores de emisión

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Factor de emisión del SIC	FE_{SIC}	346	[g CO ₂ e / kWh]
Factor de emisión CO ₂ para combustión estacionaria	FE_{CO_2}	63.100	kg CO ₂ / TJ
Factor de emisión CH ₄ para combustión estacionaria	FE_{CH_4}	1	kg CH ₄ / TJ
Factor de emisión N ₂ O para combustión estacionaria	FE_{N_2O}	0,1	kg N ₂ O / TJ
Poder de calentamiento global del CO ₂	PCG_{CO_2}	1	kg CO ₂ e / kg CO ₂
Poder de calentamiento global del CH ₄	PCG_{CH_4}	25	kg CO ₂ e / kg CH ₄
Poder de calentamiento global del N ₂ O	PCG_{N_2O}	298	kg CO ₂ e / kg N ₂ O

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.10: Botellas producidas y destruidas por lote, y volumen de cerveza en una botella.

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Botellas de cerveza producidas en un lote	B_L	120	Botellas
Botellas de cerveza destruidas por control de calidad	B_C	6	Botellas
Volumen de cerveza en una botella	$V_{CERVEZA}$	330	[cm ³]

Fuente: Elaboración propia

Con la recolección de todos los datos asociadas a los procesos productivos de la Tabla N°3.2, se completó el segundo objetivo específico de la investigación, “Recolectar datos asociados a las fuentes de emisiones de GEI”.

3.5. Paso 4: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero

3.5.1. Energía eléctrica consumida durante la esterilización y el lavado de granos

El cálculo de la energía eléctrica consumida durante los procesos de esterilización y lavado de granos, considero a la energía utilizada para elevar la temperatura del agua dispuesta en el calentador de agua, el aire atrapado dentro del equipo y la estructura metálica compuesta por acero inoxidable AISI 316. De esta forma el consumo total de energía eléctrica durante cada uno de estos procesos se calculó mediante la siguiente fórmula.

Formula N° 3.2: Energía eléctrica consumida por proceso productivo

$$EE = EE_{AGUA} + EE_{AIRE} + EE_{316}$$

Dónde:

EE = energía eléctrica consumida por el proceso [kWh]

EE_{AGUA} = energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua [kWh]

EE_{AIRE} = energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del aire [kWh]

EE₃₁₆ = energía eléctrica consumida para elevar la temperatura de la estructura [kWh]

A. Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua

Fórmula N° 3.3: Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua

$$EE_{AGUA} = m_{AGUA} * c_{AGUA} * (T_f - T_i) * 0,000277777778 [kWh/kJ]$$

Dónde:

EE_{AGUA} = Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua [kWh]

m_{AGUA} = masa del agua [kg]

c_{AGUA} = calor específico del agua [kJ/K*kg]

T_f = Temperatura final del agua [K]

T_i = Temperatura inicial del agua [K]

B. Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del aire

Fórmula N° 3.4: Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del aire

$$EE_{AIRE} = \left(\frac{D^2 * h * \pi * m_{AGUA} * \rho_{AIRE}}{4 * \rho_{AGUA}} \right) * c_{AIRE} * (T_F - T_I) * 0,0002777778 [kWh/kJ]$$

Dónde:

EE_{AIRE}	= Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura del agua	[kWh]
D	= diámetro del calentador de agua	[m]
h	= altura del calentador de agua	[m]
π	= número Pi	[adimensional]
m_{AGUA}	= masa del agua	[kg]
ρ_{AIRE}	= densidad del aire	[kg/m ³]
ρ_{AGUA}	= densidad del agua	[kg/m ³]
c_{AIRE}	= calor específico del agua	[kJ/K*kg]
T_F	= Temperatura final del aire	[K]
T_I	= Temperatura inicial del aire	[K]

C. Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura de la estructura

Fórmula N° 3.5: Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura de la estructura

$$EE_{316} = \left(\frac{\pi * D * E * \rho_{316} (2 * h + D)}{2} \right) * c_{316} * (T_f - T_i) * 0,0002777778 [kWh/kJ]$$

Dónde:

EE_{316}	= Energía eléctrica consumida para elevar la temperatura de la estructura	[kWh]
π	= número Pi	[adimensional]
D	= diámetro del calentador de agua	[m]

E	= espesor del calentador de agua	[m]
ρ_{316}	= densidad del acero inoxidable AISI 316	[kg/m ³]
h	= altura del calentador de agua	[m]
c_{316}	= calor específico del acero inoxidable AISI 316	[kJ/K*kg]
T_F	= Temperatura final del acero inoxidable AISI 316	[K]
T_I	= Temperatura inicial del acero inoxidable AISI 316	[K]

3.5.2. Gas licuado de petróleo consumido durante el macerado y la cocción

El cálculo de consumo de gas licuado de petróleo durante los procesos de macerado y cocción, se realizó mediante la siguiente fórmula.

Fórmula N° 3.6: GLP consumido por proceso productivo

$$GLP = \left(\frac{m_I - m_F}{\rho_{GLP}} \right) * 1000 [l/m^3]$$

Dónde:

GLP	= gas licuado de petróleo consumido en el proceso	[l]
m_I	= masa inicial del balón de gas	[kg]
m_F	= masa final del balón de gas	[kg]
ρ_{GLP}	= densidad del gas licuado de petróleo	[kg/m ³]

3.5.3. Alcohol etílico producido durante la fermentación y la carbonatación

El cálculo de los moles de alcohol etílico generado durante los procesos de fermentación y carbonatación se realizó mediante la siguiente fórmula.

Formula N° 3.7: Moles de alcohol etílico producidos por proceso productivo

$$mol_{ALC} = \frac{V_{CERVEZA} * (\text{°GL}_f - \text{°GL}_i) * \rho_{ALC}}{2U_C + 6U_H + U_O}$$

Dónde:

mol_{ALC}	= moles de alcohol etílico	[mol]
V_{CERVEZA}	= Volumen de cerveza	[cm ³]
$^{\circ}\text{GL}_i$	= Grado alcohólico inicial	[por ciento]
$^{\circ}\text{GL}_F$	= Grado alcohólico final	[por ciento]
ρ_{ALC}	= Densidad del alcohol etílico	[g / cm ³]
U_C	= Masa atómica del carbono	[g / mol]
U_H	= masa atómica del hidrógeno	[g / mol]
U_O	= masa atómica del oxígeno	[g / mol]

3.5.4. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de esterilización y lavado de granos

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de energía eléctrica durante el proceso de esterilización (GEI_1) y el proceso de lavado de granos (GEI_2), se realizó mediante la siguiente fórmula.

Formula N° 3.8: Emisiones de GEI asociadas a los procesos de esterilización y lavado de granos

$$\text{GEI}_i = \frac{EE_i * FE_{\text{SIC}}}{B_{\text{LOTE}}}$$

Dónde:

GEI_i	= Emisiones de GEI generadas durante el proceso i	[g CO ₂ e / botella]
EE_i	= Energía eléctrica consumida durante el proceso i	[kWh]
FE_{SIC}	= Factor de emisión del SIC	[g CO ₂ e / kWh]
B_{LOTE}	= Botellas de cerveza producidas en un lote	[botella]

3.5.5. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de macerado y cocción

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la combustión de gas licuado de petróleo durante el proceso de maceración (GEI_3) y el proceso de cocción (GEI_4) se realizó mediante la siguiente fórmula.

Fórmula N° 3.9: Emisiones de GEI asociadas a los procesos de macerado y cocción

$$GEI_i = \frac{GLP_i * PC_{GLP}}{B_{LOTE}} * [(FE_{CO_2} * PCG_{CO_2}) + (FE_{CH_4} * PCG_{CH_4}) + (FE_{N_2O} * GPC_{N_2O})]$$

Dónde:

GEI_i = Emisiones de GEI generadas durante el proceso i [g CO₂e / botella]

GLP = Gas licuado de petróleo consumido durante el proceso i [l]

PC_{GLP} = Poder calorífico del gas licuado de petróleo [TJ / l]

B_{LOTE} = Botellas de cerveza producidas en un lote [Botella]

FE_{CO_2} = Factor de emisiones de CO₂ para combustión estacionaria [kg CO₂ / TJ]

PCG_{CO_2} = Poder de calentamiento global de CO₂ [kg CO₂e / kg CO₂]

FE_{CH_4} = Factor de emisiones de CH₄ para combustión estacionaria [kg CH₄ / TJ]

PCG_{CH_4} = Poder de calentamiento global de CH₄ [kg CO₂e / kg CH₄]

FE_{N_2O} = Factor de emisiones de N₂O para combustión estacionaria [kg N₂O / TJ]

PCG_{N_2O} = Poder de calentamiento global de N₂O [kg CO₂e / kg N₂O]

3.5.6. Emisiones de GEI asociadas a los procesos de fermentación y carbonatación

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de alcohol etílico durante el proceso de fermentación (GEI_5) y el proceso de carbonatación (GEI_6), se realizó mediante las siguientes fórmulas.

Fórmula N° 3.10: Relación de moles entre los productos de la fermentación alcohólica

$$mol_{ALCOHOL} = mol_{CO2}$$

Dónde:

mol_{ALC} = Moles de alcohol etílico por botella [mol / botella]

mol_{CO2} = Moles de CO_2 por botella [mol / botella]

Fórmula N° 3.11: Emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los procesos de fermentación y carbonatación

$$GEI_i = mol_{CO2} * [U_C + (U_O * 2)]$$

Dónde:

GEI = Emisiones de GEI generadas durante el proceso i [g CO_2e / botella]

mol_{CO2} = Moles de CO_2 por botella [mol / botella]

U_C = Masa atómica del carbono [g / mol]

U_O = Masa atómica del oxígeno [g / mol]

3.5.7. Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados.

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, asociadas a los seis procesos productivos evaluados, se realizó sumando las emisiones generadas en cada uno de los procesos, mediante la siguiente fórmula.

Fórmula N° 3.12: Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados

$$GEI_p = \sum_{k=1}^6 GEI_k$$

Dónde:

GEI_p = Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados [g CO₂e / botella]

GEI = Emisiones de GEI generadas durante el proceso i [g CO₂e / botella]

3.5.8. Factor de corrección por ensayos destructivos.

De las 120 botellas de cerveza producidas en un lote, seis de ellas fueron utilizadas en ensayos destructivos durante el proceso de control de calidad. Las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas a estas seis botellas se asociaron a las 114 botellas de producto terminado mediante un factor de corrección calculado con la siguiente fórmula.

Fórmula N° 3.13: Factor de corrección por ensayos destructivos

$$FC = \frac{GEI_p * B_C}{B_{LOTE} - B_C}$$

Dónde:

FC = Factor de corrección [g CO₂e / botella]

GEI_p = Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados [g CO₂e / botella]

B_C = Botellas de cerveza destruidas durante el proceso de control de calidad [botella]

B_{LOTE} = Botellas de cerveza producidas en un lote [botella]

3.5.9. Emisiones de GEI por botella de cerveza Ámbar Lager

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero asociadas a una botella de cerveza Ámbar Lager se calcularon sumando las emisiones generadas durante los procesos productivos evaluados y el factor de emisiones del proceso de control de calidad, el cálculo se realizó mediante a siguiente fórmula.

Fórmula N° 14: Emisiones de GEI por botella de cerveza Ámbar Lager

$$GEI_B = GEI_P + FC$$

Dónde:

GEI_B = Emisiones de gases de efecto invernadero por botella [g CO₂e / botella]

GEI_P = Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados [g CO₂e / botella]

FC = Factor de corrección [g CO₂e / botella]

4. RESULTADOS.

4.1. Exposición de los resultados

La Tabla N° 4.1 presenta por cada uno los procesos productivos evaluados, y según corresponda, el consumo de energía eléctrica por proceso, el consumo de gas licuado de petróleo por proceso y la producción de alcohol etílico por botella.

Tabla N° 4.1: Consumo de energía eléctrica, consumo de gas licuado de petróleo y producción de alcohol etílico por proceso productivo.

Ítem	Valor	Unidad
Energía eléctrica consumida durante el proceso de esterilización	1,087	kWh / proceso
Gas licuado de petróleo consumido durante el proceso de maceración	0,419	l / proceso
Energía eléctrica consumida durante el proceso de lavado de granos	1,081	kWh / proceso
Gas licuado de petróleo consumido durante el proceso de cocción	1,098	l / proceso
Alcohol etílico producido durante el proceso de fermentación	0,401	mol / botella
Alcohol etílico producido durante el proceso de carbonatación	0,011	mol / botella

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 4.2 presenta las emisiones de gases de efecto invernadero, medidas en gramos de dióxido de carbono equivalente por botella (g CO₂e/botella), generadas en cada uno de los procesos productivos evaluados.

Tabla N° 4.2: Emisiones de GEI generadas por proceso productivo evaluado

Ítem	Valor	Unidad
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de esterilización	3,134	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de maceración	6,138	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de lavado de granos	3,116	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de cocción	16,104	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de fermentación	17,660	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI generadas durante el proceso de carbonatación	0,497	g CO ₂ e/botella

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 4.3 presenta la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante los seis procesos productivos evaluados, además muestra el factor de corrección asociado a los ensayos destructivos realizados en el proceso de control de calidad y finalmente la tabla presenta las emisiones de gases de efecto invernadero ajustadas por el factor de corrección para una botella de cerveza Ámbar Lager.

Tabla N° 4.3: Emisiones de gases de efecto invernadero por botella de cerveza Ámbar Lager

Ítem	Valor	Unidad
Emisiones de GEI generadas durante los procesos productivos evaluados	46,648	g CO ₂ e/botella
Factor de corrección por ensayos destructivos	2,455	g CO ₂ e/botella
Emisiones de GEI por botella de cerveza Ámbar Lager	49,104	g CO ₂ e/botella

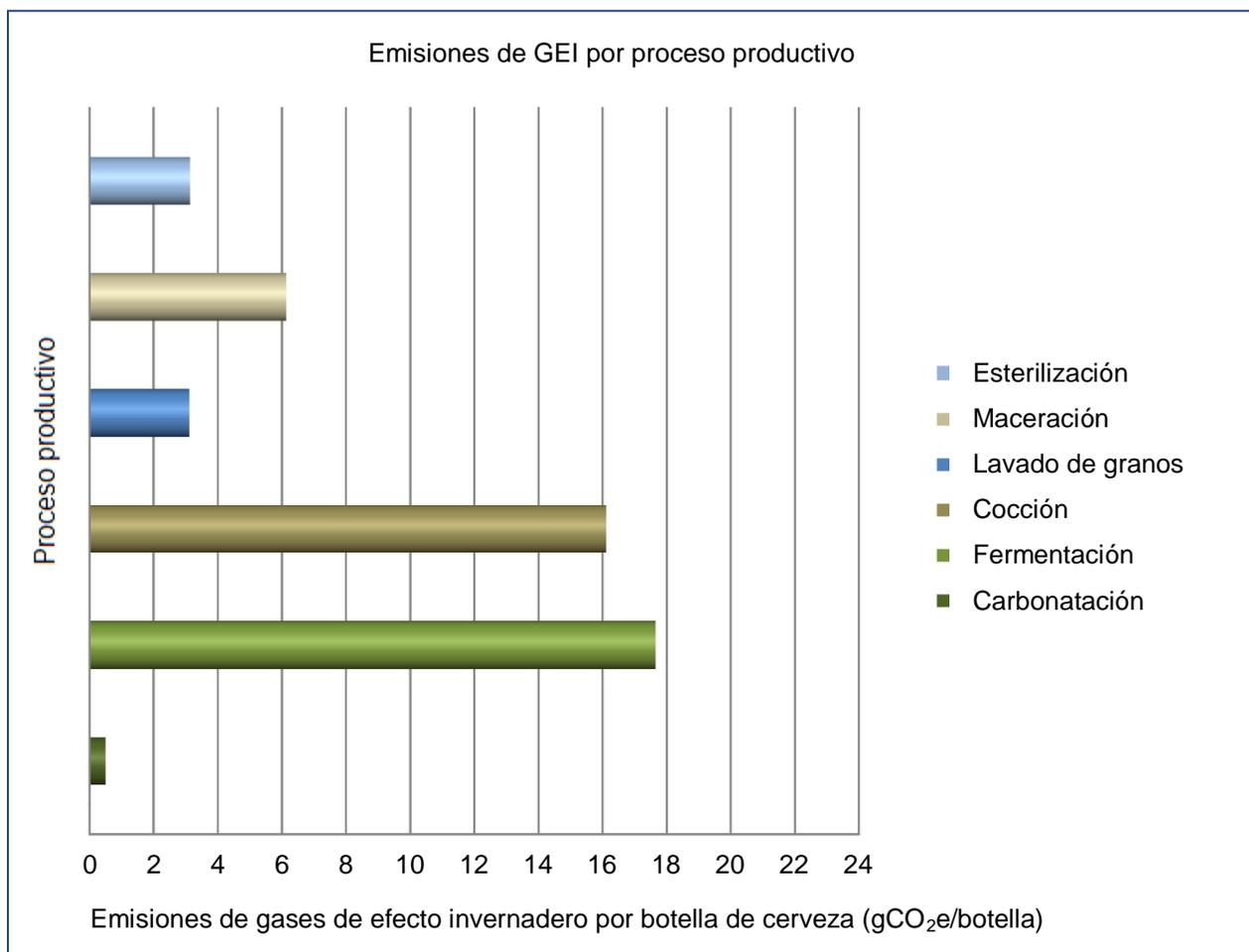
Fuente: Elaboración propia

4.2. Discusión de los resultados

Los procesos productivos evaluados que contribuyeron en mayor medida a las emisiones totales de gases de efecto invernadero de una botella de cerveza Ámbar Lager, fueron los procesos de cocción y fermentación, aportando cada uno respectivamente 16,104 y 17,660 gramos de dióxido de carbono equivalente por botella.

La Figura N° 4.1 presenta un gráfico de barras en el que se distingue la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que aportó cada proceso productivo a una botella de cerveza.

Figura N° 4.1: Emisiones de GEI asociadas a cada proceso productivo evaluado

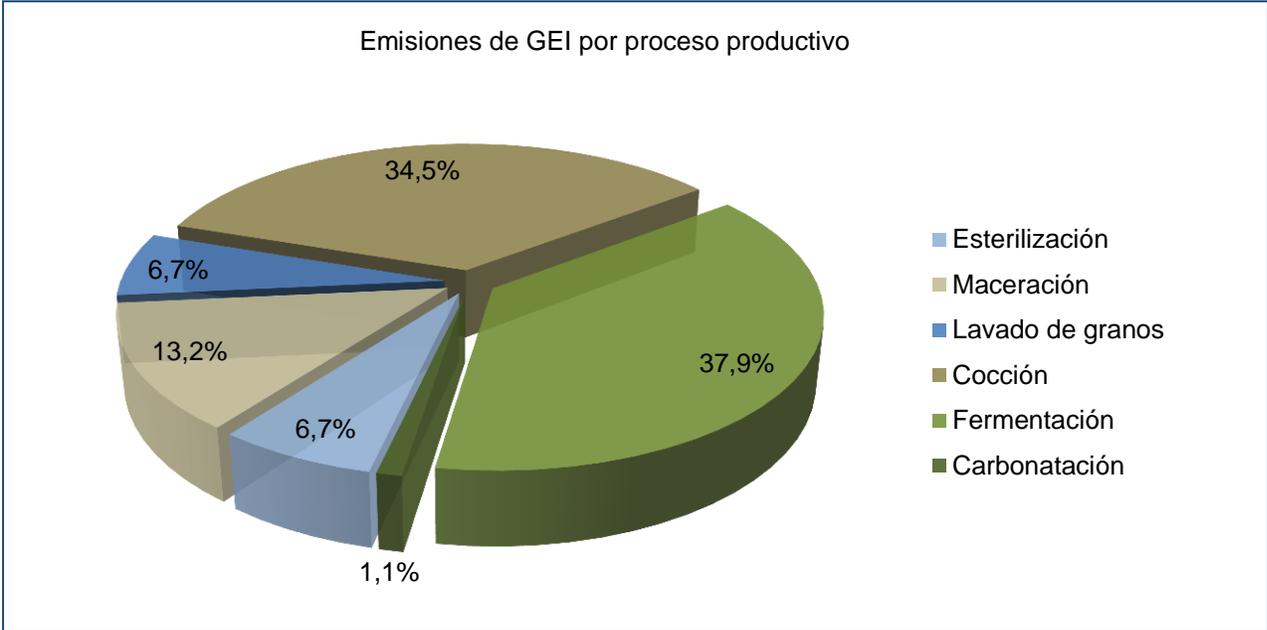


Fuente: Elaboración propia

Entre los seis procesos productivos evaluados, el proceso que menos emisiones de GEI generó fue el proceso de carbonatación, solo representó un 1,1% de las emisiones totales, le siguieron los procesos de esterilización y lavado de granos con un 6,7% cada uno, luego el proceso de maceración con un 13,2% y finalmente los procesos que realizaron el mayor aporte de emisiones fueron los procesos de cocción y fermentación con 34,5% y 37,9% respectivamente.

La Figura N° 4.2 presenta un gráfico circular en el que se distingue el porcentaje de emisiones de GEI con que cada proceso productivo aportó a una botella de cerveza Ámbar Lager.

Figura N° 4.2: Porcentaje de emisiones de GEI asociado a cada proceso productivo evaluado

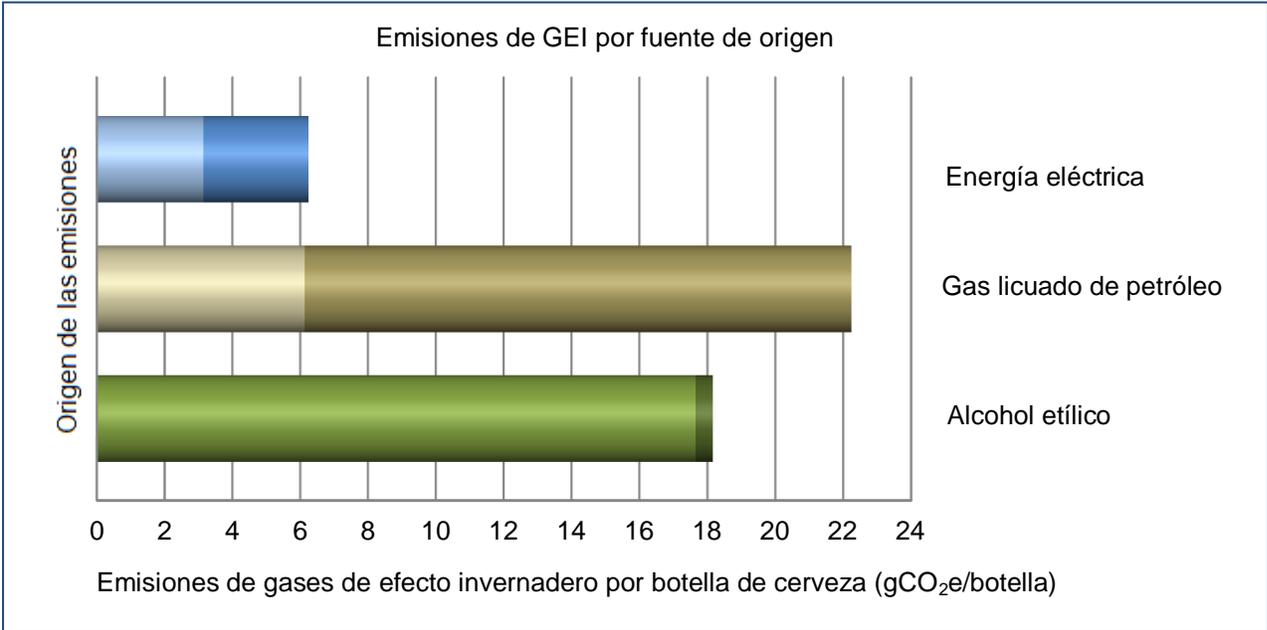


Fuente: Elaboración propia

Entre los seis procesos productivos evaluados se distinguieron tres fuentes que originaban emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de energía eléctrica, la combustión de gas licuado de petróleo y la producción de alcohol etílico.

La Figura N°4.3 presenta un gráfico de barras en el que se distingue la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que aportó cada fuente de emisiones a una botella de cerveza. Las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica se derivan de los procesos productivos de esterilización y lavado de granos, las emisiones asociadas a la combustión de gas licuado de petróleo se derivan de los procesos productivos de maceración y cocción, y las emisiones asociadas a la producción de alcohol etílico se derivan de los procesos productivos de fermentación y carbonatación.

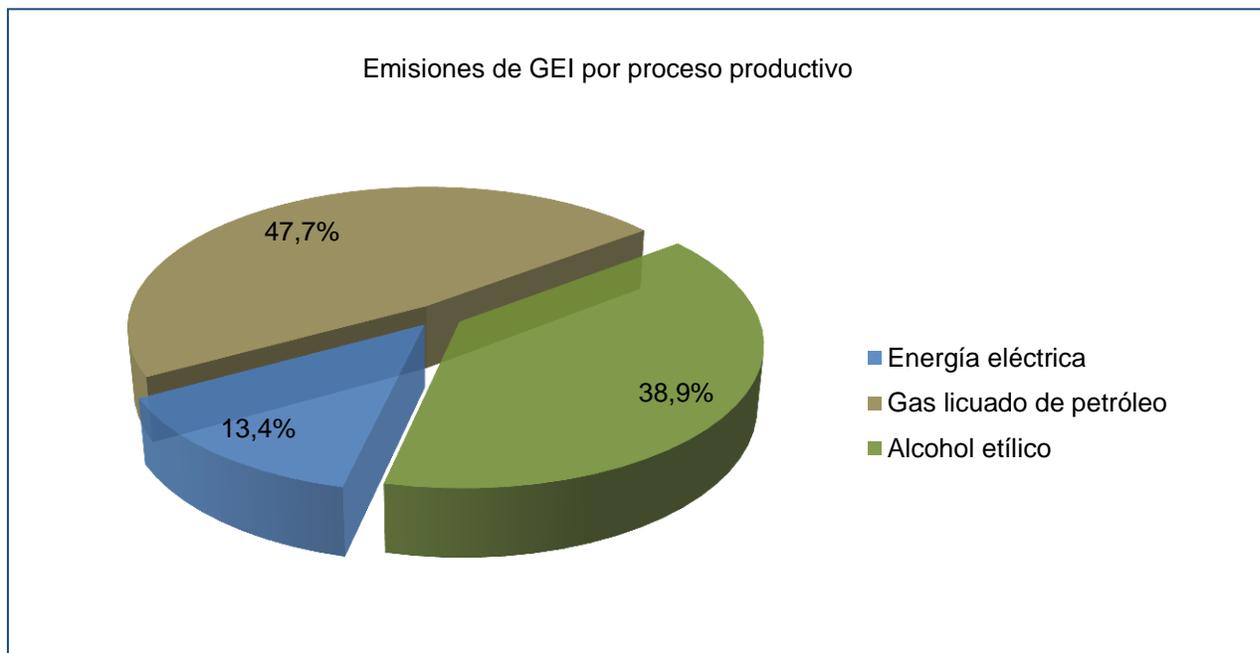
Figura N° 4.3: Emisiones de GEI asociadas a cada fuente de origen de emisiones detectada



Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 4.4 presenta un gráfico circular en el que se distingue el porcentaje de emisiones de GEI con que cada fuente de origen de emisiones aportó a una botella de cerveza Ámbar Lager.

Figura N° 4.4: Porcentaje de emisiones de GEI asociado a cada fuente de origen de emisiones



Fuente: Elaboración propia

Las emisiones originadas por la combustión de gas licuado de petróleo aportaron con el 47,7% del total de las emisiones de una botella de cerveza, la producción de alcohol etílico aportó con un 38,9% y el consumo de energía eléctrica aportó un 13,4% de las emisiones totales.

5. CONCLUSIONES

Una reducción de las emisiones de GEI de la cerveza Ámbar Lager debe centrarse en las fuentes y la cantidad de energía utilizada

Del total de emisiones de GEI de una botella de cerveza Ámbar Lager, el 61,1% de ellas están relacionadas con consumos energéticos y el restante 38,9% al proceso bioquímico de fermentación alcohólica.

Cambiando las fuentes de energía utilizadas o reduciendo el consumo de energía en los procesos productivos, se pueden disminuir las emisiones de GEI relacionadas con los consumos energéticos, sin embargo, las emisiones generadas por la fermentación alcohólica solo pueden reducirse modificando la receta del producto, ya que estas emisiones están estrictamente relacionadas con el grado alcohólico de la cerveza.

Se deben utilizar factores de emisión específicos para seleccionar las fuentes de energías eléctricas y calóricas menos contaminantes

Si en un proceso productivo, es de interés consumir energía eléctrica, y además se busca que esta energía eléctrica sea lo menos contaminante posible, en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero, entonces se debe elegir la fuente de energía eléctrica que tenga el menor factor de emisión. Por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Central oscila alrededor de 0,35 [tCO₂e/MWh], el factor de emisión de una central de generación que combustiona solamente gas licuado de petróleo se acerca a 0,50 [tCO₂e/MWh] y el factor de emisión de una central de generación diesel bordea un valor cercano a 0,80 [tCO₂e/MWh], entonces, dentro de estas alternativas, la energía eléctrica menos contaminante, en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas, es la energía eléctrica que entrega el Sistema Interconectado Central.

Ahora bien, si en un proceso productivo, es de interés consumir energía calórica y no energía eléctrica, y además se busca que esta energía calórica sea lo menos contaminante posible, en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero, la elección de la fuente energética no debe considerar a los factores de emisión de energía eléctrica. Para realizar esta elección, se deben generar indicadores que permitan evaluar a cada una de las alternativas energéticas en función de las emisiones de GEI por unidad de energía calórica, un factor de emisión apropiado para este propósito debe medirse en toneladas de dióxido de carbono equivalente por Mega caloría (tCO₂e/Mcal) o en toneladas de dióxido de carbono equivalente por Mega Joule (tCO₂e/MJ)

Se produce una energía calórica menos contaminante quemando gas licuado de petróleo que utilizando energía eléctrica proporcionada por el SIC.

La energía calórica generada con energía eléctrica provista por el SIC en los procesos de esterilización y lavado de granos, puede ser reemplazada por energía calórica generada por combustión de gas licuado de petróleo, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a estos dos procesos productivos.

De esta forma, las emisiones generadas en estos procesos se reducirían de 6,250 [gCO₂e/botella] a 4,107 [gCO₂e/botella]

La reducción de las emisiones se debe a que los procesos de transformación energética, necesarios para generar energía calórica a partir de la energía eléctrica suministrada por el SIC, son mayores a los necesarios para producir energía calórica a partir de la combustión directa de gas licuado de petróleo, esto provoca que las ineficiencias ocurridas en los procesos de transformación energética sean acumulativos y altamente significativos para el primer caso y casi despreciables para el segundo.

Por ejemplo, para generar energía calórica útil a partir de la combustión de gas licuado de petróleo solo se realiza una transformación energética, la transformación de la energía química del combustible a energía calórica útil. Pero en el caso de una central de generación eléctrica, la energía química del combustible es transformada en energía calórica, luego en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica, luego esta energía eléctrica es suministrada por el SIC al cliente para que finalmente pueda ser transformada en energía calórica útil. Si bien estas ineficiencias solo son aplicables a las centrales de generación termoeléctricas del SIC, son suficientemente significativas para afectar a toda la energía eléctrica aportada por el SIC.

Para que la generación de energía calórica mediante la utilización de energía eléctrica entregada por el SIC sea competitiva con la combustión de gas licuado de petróleo, el factor de emisión del SIC debería bajar de 346 [gCO₂e/kWh] a 210 [gCO₂e/kWh]

Inversiones que disminuyan el consumo de energía y que incorporen generación de energías renovables no convencionales pueden ser implementadas solo si son factibles económicamente.

Inversiones en eficiencia energética que se traduzcan en una disminución del consumo energético de un proceso productivo, o inversiones en fuentes energéticas renovables no convencionales que desplacen las emisiones de GEI generadas por las fuentes energéticas actualmente utilizadas, pueden ser implementadas para reducir las emisiones de GEI asociadas a una botella de cerveza Ámbar Lager solo si demuestran ser económicamente factibles para la empresa luego de un análisis.

Una cerveza con menos grados alcohólicos tiene menos emisiones de GEI

Las emisiones de GEI generadas por la fermentación alcohólica durante los procesos de fermentación y carbonatación, son relevantes dentro de las emisiones totales asociadas a la producción de una botella de cerveza. En el caso de una cerveza Ámbar Lager, estas emisiones representan el 38,9% de las emisiones totales.

La relación existente entre las emisiones de GEI de una botella de cerveza y el grado alcohólico de ésta es directamente proporcional, es así como en una botella de cerveza de 330 [cm³] las emisiones de GEI aumentan en 2,487 [gCO₂e] por cada grado alcohólico de la cerveza.

Luego, si la receta de la cerveza Ámbar Lager fuera modificada, y los grados alcohólicos de ésta bajaran a cuatro grados o subieran a nueve grados, las emisiones de GEI generadas en los procesos de fermentación y carbonatación pasarían de los actuales 18,157 [gCO₂e/botella] a 9,949 [gCO₂e/botella] y 22,386 [gCO₂e/botella] respectivamente.

6. BIBLIOGRAFÍA

BARROS, S. y Ipinza, R. 2011. El cambio climático. En: INSTITUTO FORESTAL. El cambio climático los bosques y la silvicultura. Chile. 24p.

CHILE, Ministerio de Agricultura, 1985, Ley 18.455: Fija normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres, y deroga Libro I de la Ley N° 17.105, 17 de febrero de 2009, 16 páginas.

CHILE, Ministerio de Agricultura, 1986, Decreto 76: Reglamenta Ley N° 18.455 que fija normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres, 7 de marzo de 2011, 29 páginas.

DAVIES, C “et al”, 2006, Capítulo 3: Combustión Móvil. En: GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2: Energía. Japón. pp 3.1-3.78

FREY, C “et al”. 2006. Capítulo 3: Incertidumbres. : GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 1: Orientación general y generación de informes. Japón. Pp 3.1-3.71

GÓMEZ, D “et al”. 2006. Capítulo 2: Combustión Estacionaria. En: GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2: Energía. Japón. pp 2.1-2.47

MINDER, E. 1997. Modelación hidrológica en el Sistema Interconectado Central. Magister en Ciencias de la Ingeniería. Chile, Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 167p.

NEUENSCHWANDEN, A. 2010. El cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile. Chile.123p

PERRY, H. 2001. Perry: Manual del Ingeniero Químico. 6° ed. México. McGraw-Hill. Tomo I.

PERRY, H. 2001. Perry: Manual del Ingeniero Químico. 6° ed. México. McGraw-Hill. Tomo III.

7. LINKOGRAFÍA

AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. 2009. Factores de emisión SIC y SING para proyectos MDL. [en línea]. <<http://www.acee.cl/576/article-62102.html>>. [consulta: 6 de febrero de 2012]

BRANIGAN, T y Carter H. 2007. Carbon labels to help shoppers save planet. [en línea]. The Guardian. 31, mayo, 2007. <<http://www.guardian.co.uk/environment/2007/may/31/greenpolitics.retail>>. [consulta: 25 de diciembre de 2011]

BSI. 2008. PAS2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. [en línea]. Reino Unido, Londres. < <http://www.bsigroup.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050>>. [consulta: 20 de noviembre de 2011]

BSI. 2008. Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services. [en línea]. Reino Unido, Londres. <<http://www.bsigroup.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050>>. [consulta: 20 de noviembre de 2011]

CDEC-SIC. 2011. Quienes somos. [en línea]. < https://www.cdec-sic.cl/contenido_es.php?categoria_id=1&contenido_id=000001 >. [consulta. 2 de febrero de 2012]

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2011. Balance Nacional de energía 2010. [en línea.] Chile. <http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Balances_Energ.html> [consulta: 2 de enero de 2012]

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2011. Capacidad instalada por sistema eléctrico nacional. [en línea]. Chile. <http://www.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Electricidad.html> [consulta: 3 de febrero de 2012]

CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Estados Unidos de América, Nueva York. <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> [consulta: 15 de diciembre de 2011]

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2007. Cambio climático 2007 informe de síntesis. [en línea]. Suiza, Ginebra. <www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf>. [consulta: 15 de diciembre de 2011]

INCOTEC. 2010. Licitación N° 5685-3-LE10 para la contratación de servicios de ejecución del estudio denominado Validación de la aplicación de la “Herramienta para calcular el Factor de Emisión de un Sistema Eléctrico”, para el “Sistema Interconectado Central” (SIC) y el “Sistema Interconectado del Norte

Grande" (SING). [en línea]. Chile. <http://www.acee.cl/576/articles-62102_recurso_1.pdf>. [consulta: 6 de febrero de 2012]

MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE. 2010. Reportes de emisión para el SIC. [en línea]. Chile. <http://huelladecarbono.minenergia.cl/descargas_FE_SIC.html> [consulta: 19 de diciembre de 2011]

PRO-CHILE. 2007. Huella de carbono. [en línea]. <http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/huella_de_carbono.php>. [consulta: 15 de septiembre de 2011]

TESCO. 2010. Carbon footprints and labeling. [en línea]. http://www.tesco.com/greenerliving/greener_tesco/faqs/qa_carbon_footprint_and_labelling.page>. [consulta: 15 de septiembre de 2011]

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. 2007. Punto de ebullición. [en línea]. <<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Liquid3/node8.html>>. [consulta: 6 de febrero de 2012]

VÁZQUEZ, H.J. y Dacosta O. 2007. Fermentación alcohólica: una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. [en línea]. México, Distrito Federal. <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/404/40480404.pdf>>. [consulta: 25 de enero de 2012]

Anexo A : Glosario del proceso productivo de la cerveza Ámbar Lager

Aireación por agitación:

Proceso en que el mosto enfriado es agitado dentro de un recipiente con el fin de solubilizar en él moléculas de oxígeno.

Airlock:

Herramienta usada durante la fermentación, permite la salida de CO₂ e impide la entrada de aire al fermentador.

Alcohol etílico:

El alcohol etílico o etanol, es un compuesto químico incoloro, inflamable y volátil. Su fórmula química es C₂H₆O.

Almidón:

Es un polisacárido compuesto por polisacáridos de amilosa y amilopectina.

Amilasa:

La amilasa o diastasa, es un enzima hidrolasa de origen vegetal que se encuentra en ciertas semillas germinadas y otras plantas. Su función es la de catalizar la reacción de hidrólisis primero del almidón en dextrinas y posteriormente después en azúcares simples.

Avena cervecera:

Granos de avena que han sido arrollados y cocidos.

Azúcares fermentables:

Son sacáridos que pueden ser digeridos por la levadura de cerveza *Saccharomyces cerevisiae*.

Bagazo:

Fracción sólida obtenida al final el proceso de macerado compuesta por fragmentos y cascarillas de granos húmedos.

Cerveza:

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, fabricada con granos de cebada y otros cereales.

Cerveza joven:

Producto del proceso de fermentación, es una bebida fermentada que no se encuentra gasificada.

Dióxido de carbono:

Molécula compuesta por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO₂.

Ensayo destructivo:

Ensayo o prueba, que una vez realizado, altera permanentemente las propiedades originales de un producto

Fermentador:

Equipo cilíndrico construido en acero inoxidable con una capacidad de 50 [l].

Floculación:

Proceso químico en que los solutos se aglomeran formando partículas de mayor tamaño.

Glucosa:

Es un monosacárido con forma molecular C₆H₁₂O₆.

Hidrólisis:

Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

Intercambiador de contracorriente

Equipo construido en acero inoxidable, utilizado para intercambiar calor de un fluido a otro sin que estos entren en contacto.

Levadura de cerveza

La levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) es un hongo unicelular capaz de sobrevivir en sustancias alcohólicas.

Lote

La producción por lote se caracteriza por terminar un proceso antes de comenzar otro.

Lúpulo

El lúpulo es una planta de la familia de las *Cannabaceae* cuyas flores sin fecundar son utilizadas para otorgar amargor a la cerveza.

Lúpulo agotado

Nombre técnico que reciben los lúpulos que fueron utilizados durante el proceso de cocción.

Luz natural:

La luz natural o luz diurna es la combinación de toda la luz solar exterior durante el día.

Macerador:

Equipo cilíndrico construido en acero inoxidable con una capacidad de 50 [l].

Malta:

Producto obtenido del proceso de malteado de granos de cebada.

Malta Caramelo:

Granos de cebada germinados parcialmente, secados y tostados de forma controlada.

Malta Pilsen:

Granos de cebada germinados parcialmente y secados de forma controlada.

Maltodextrina:

Es un polisacárido de la familia de las dextrinas, moderadamente dulce y fermentable en un 3%.

Maltosa:

La maltosa o azúcar de malta es un disacárido formado por dos moléculas de glucosa. Su fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Microorganismos:

Son seres vivos, en su mayoría unicelulares

Molino de granos manual:

El molino es un equipo construido en hierro fundido que tiene como función moler los granos de malta.

Mosto:

Solución de sabor dulce rica en azúcares fermentables obtenida al finalizar el proceso de macerado.

Mosto cocido:

Solución de sabor dulce rica en azúcares fermentables obtenida al finalizar el proceso de cocción.

Mosto enfriado:

Solución de sabor dulce rica en azúcares fermentables obtenida al finalizar el proceso de enfriado.

Olla de cocción:

Equipo cilíndrico construido en acero inoxidable con una capacidad de 50 [l].

Precipitación:

Proceso físico en el que moléculas suspendidas en un líquido descienden a los niveles más bajos de la columna.

Proceso Productivo:

Secuencia de actividades requeridas para elaborar un producto.

Retención de espuma:

Se entiende por retención de espuma al tiempo, medido en segundos, que la espuma se mantiene en la cerveza luego de que ésta fuera servida.

Solubilizar:

Disolver en un líquido

Tapa corona:

Tipo de tapa metálica desechable que asegura la hermeticidad del producto tapado.

Tapadora de tijeras:

Tipo de tapadora de botellas manual que utiliza tapas corona

Turbio caliente:

Parte sólida obtenida al filtrar el producto del proceso de cocción.

Turbio frío:

Parte sólida obtenida al finalizar el proceso de fermentación.

Anexo B : Variables y constantes utilizadas en los cálculos

Símbolo de la variable	Nombre de la variable
T	Temperatura
m	Masa
D	Diámetro
h	Altura
E	Espesor
°GL	Grado Gay Lusac
ρ	Densidad
C	Calor específico
PC	Poder calorífico
U	Masa atómica
B	Botella
V	Volumen
Π	Número Pi

Anexo C : Unidades de medida utilizadas en los cálculos

Magnitud	Unidad	Símbolo
Masa	Gramo	g
Masa	Kilogramo	kg
Masa	Tonelada	t
Volumen	Centímetro cúbico	cm ³
Volumen	Litro	l
Volumen	Metro cúbico	m ³
Longitud	Milímetro	mm
Longitud	Centímetro	cm
Longitud	Metro	m
Longitud	Kilometro	km
Temperatura	Grados Celsius	°C
Temperatura	Grados Kelvin	K
Concentración	Partes por millón en volumen	ppmv
Concentración	Partes por billón	ppb
Potencia	Mega Watt	MW
Energía	Kilo Watt hora	kWh
Energía	Mega Watt hora	MWh
Energía	Kilo Joule	kJ
Energía	Tera Joule	TJ
Cantidad de materia	mol	mol